

UNIVERZITA PARDUBICE
Fakulta elektrotechniky a informatiky

ŘÍDICÍ SOFTWARE ROBOTICKÉHO MANIPULÁTORU

Tomáš Dočekal

Bakalářská práce
2017

Univerzita Pardubice
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Akademický rok: 2016/2017

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Tomáš Dočekal**
Osobní číslo: **I14397**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Řízení procesů**
Název tématu: **Řídicí software robotického manipulátoru**
Zadávající katedra: **Katedra řízení procesů**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Cílem práce je návrh a realizace úpravy efektoru a tvorba řídicích algoritmů průmyslového robotického manipulátoru "Stäubli RX160". V teoretické části práce bude zpracována rešerše tématu, společně s návrhem úpravy efektoru manipulátoru paralelního chapadla "Festo DHPS-20-A". Praktická část bude obsahovat realizaci návrhu úpravy efektoru, společně s návrhem řídicích algoritmů manipulátoru. Řídicí algoritmy budou vytvořeny v programovacím jazyce VAL3, a budou umožňovat manipulátoru jeho autonomní pohyb zajišťující manipulaci se zvoleným typem předmětů. Součástí práce bude videozáznam se záznamem funkce realizované úpravy efektoru a řídicích algoritmů robotického manipulátoru.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

SKAŘUPA Jiří, Průmyslové roboty a manipulátory. 1. vyd. Ostrava, VŠB-TU Ostrava, 2007. 260 s. ISBN 978-80-248-1522-0

Výuková příručka SolidWorks 2001. Pastrnkova 13, 615 00 Brno: ancor, 2001.

Dostupné z: <http://www.ancor.cz>

LOMBARD, Matt. SolidWorks 2010, Bible. 10475 Crosspoint Boulevard Indianapolis: Wiley Publishing, Inc., 2010. ISBN 978-0-470-55481-4. Dostupné z: www.wiley.com

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Libor Havlíček, Ph.D.

Katedra řízení procesů

Datum zadání bakalářské práce:

8. prosince 2016

Termín odevzdání bakalářské práce:

12. května 2017

Ing. Zdeněk Němec, Ph.D.
děkan



L.S.

Ing. Daniel Honc, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 15. prosince 2016

Prohlášení

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 9/2012, bude práce zveřejněna v Univerzitní knihovně a prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 3.12.2017

Tomáš Dočekal

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat Ing. Liboru Havlíčkovi PH.D., vedoucímu bakalářské práce, za odbornou pomoc a cenné rady. Dále firmě T M T spol. s r.o. Chrudim za odbornou konzultaci, zejména Ing. Ondřeji Brotanovi a Pavlu Filípkovi. V neposlední řadě bych chtěl poděkovat svým rodičům a přítelkyni, kteří mě během studia podporovali.

V Pardubicích dne 3.12.2017

Tomáš Dočekal

ANOTACE

Bakalářská práce se zabývá průmyslovými roboty. Seznamuje nás se základním rozdělením průmyslových robotů a efektorů. Zaměřuje se na popis a způsob programování průmyslového robotu Stäubli RX160. Součástí práce je realizace externích palců s využitím 3D tisku. Palce jsou plně kompatibilní s chapadlem "Festo DHPS-20-A". V příloze nalezneme VAL3 aplikaci a záznam funkce upraveného efektoru, který manipuluje s předměty.

KLÍČOVÁ SLOVA

Robotický manipulátor, efektor, programovací jazyk VAL3, Stäubli RX160.

TITLE

ROBOTIC MANIPULATOR CONTROL SOFTWARE

ANNOTATION

The bachelor thesis is about industrial robots. The thesis summarizes the types of industrial robots and effectors. It focuses on the description and programming of the industrial robot Stäubli RX160. Part of the thesis is to create external thumbs via 3D printing. The palms are fully compatible with the "Festo DHPS-20-A" effector. The appendix includes a VAL3 application and a record of a modified effector function that manipulates objects.

KEYWORDS

Robotic manipulator, Effector, programming language VAL3, Stäubli RX160.

OBSAH

	Seznam zkratk a značek	10
	Seznam symbolů proměnných veličin a funkcí	11
	Seznam ilustrací	12
	Seznam tabulek	15
	ÚVOD	16
1	TŘÍDĚNÍ PRŮMYSLVÝCH ROBOTŮ A MANIPULÁTORŮ	17
1.1	Kinematická struktura	18
1.2	Počet stupňů volnosti	19
1.2.1	Výpočet počtu stupňů volnosti.....	20
1.3	Druh pohonu	20
1.4	Oblast nasazení a činnost	21
1.5	Geometrie pracovního prostoru	22
1.5.1	Kartézský prostor – PRaM typu „TTT“	23
1.5.2	Sférický prostor – PRaM typu „RRT“	23
1.5.3	Cylindrický prostor – PRaM typu „RTT“ a „RRT“	24
1.5.4	Angulární prostor – PRaM typu „RRR“	24
1.6	Kompaktnost – univerzální a modulární konstrukce	25
2	EFEKTORY PRŮMYSLVÝCH ROBOTŮ	26
2.1	Obecná struktura uchopovacího efektoru	27
2.2	Výměnný mechanismus	27
2.3	Typy úchopných efektorů (ÚE)	29
2.3.1	Mechanické ÚE.....	29
2.3.2	Magnetické ÚE	30
2.3.3	Podtlakové ÚE	30
3	PARALELNÍ CHAPADLO DHPS20-A	31
3.1	Popis funkce mechanického chapadla.....	31
3.2	Periferie efektoru.....	32
3.2.1	Čidlo polohy SMAT-8M-U-E-0,3-M8D.....	32
3.2.2	Jednotka úpravy stlačeného vzduchu.....	33
3.2.3	Elektromagnetické ventily	34
3.3	Velikost uchopovací síly	35
4	ÚPRAVA EFEKTORU	36

4.1	Realizace úpravy s využitím 3D tisku.....	37
4.1.1	Součástky 3D tiskárny a jejich funkce.....	37
4.1.2	Vygenerování řídicího souboru pro 3D tisk.....	37
5	PRŮMYSLOVÝ ROBOT STÄUBLI RX160	39
5.1	Robotické rameno	39
5.1.1	Klasifikace ramene.....	39
5.1.2	Technické specifikace	40
5.1.3	Omezení pracovního prostoru.....	42
5.1.4	Kontrola při kolizi.....	42
5.1.5	Zapojení ramene, elektrický a pneumatický okruh.....	43
6	KONTROLÉR CS8C.....	44
6.1.1	Signály kontroléru.....	45
6.2	Kontrolní panel WMS (Working mode selection).....	46
6.3	Manuální ovladač MCP	47
6.3.1	Volba pracovního módu.....	48
6.3.2	Napájení motorů ramene	48
6.3.3	Stop tlačítko MCP.....	49
6.3.4	Pohybová tlačítka	49
6.3.5	Tlačítka pro výběr režimu pohybu	50
6.3.6	Tlačítko nastavení rychlosti	51
6.3.7	Funkční klávesy	51
6.3.8	Klávesnice	51
6.3.9	Navigační tlačítka	52
6.3.10	Ovládací tlačítka aplikace	52
6.3.11	Blokovací mechanismus MCP	53
6.3.12	Tlačítka digitálních výstupů.....	53
6.3.13	Rychlé pohyby (JOG)	53
7	PROGRAMOVÁNÍ ROBOTŮ STÄUBLI.....	54
7.1	Programové vybavení Stäbli robotics suite.....	55
7.1.1	Cell manager	55
7.1.2	Transfer manager	56
7.1.3	CS8 Emulator.....	56
7.1.4	3D studio	57
7.1.5	VAL3 studio.....	58

8	PROGRAMOVACÍ JAZYK VAL3	58
8.1	Aplikace	59
8.2	Program	59
8.2.1	Základní datové typy (simple types)	60
8.2.2	Strukturované datové typy (structured types)	60
8.2.3	Proměnné	60
8.2.4	Příkazy pro pohyb robota	61
8.2.5	Definování dat pro pohyb (nástroj, body a rychlosti)	62
9	APLIKACE PICK&PLACE	64
9.1	Princip funkce aplikace	64
9.2	Definování dat	66
10	ZÁVĚR	67
	POUŽITÁ LITERATURA	68
	PŘÍLOHY	70

SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK

PRaM	průmyslové roboty a manipulátory
VAL3	programovací jazyk VAL3
MCP	manuální ovladač
WMS	kontrolní panel

SEZNAM SYMBOLŮ PROMĚNNÝCH VELIČIN A FUNKCÍ

F	počet stupňů volnosti
λ	počet stupňů volnosti pro jednoznačné určení polohy předmětu
n	počet členů mechanismu včetně rámu
g	počet kinematických dvojic
f_i	stupně volnosti kloubu

SEZNAM ILUSTRACÍ

Obr. 1.1 – Uzavřený řetězec	18
Obr. 1.2 – Otevřený řetězec	18
Obr. 1.3 – Paralelní robot Fanuc	19
Obr. 1.4 – Sériový robot fy Yaskawa	19
Obr. 1.5 – Stupně volnosti předmětu	20
Obr. 1.6 – Chirurgický robot da Vinci	21
Obr. 1.7 – Malý měsíčník	21
Obr. 1.8 – Regionální a lokální pohyby	22
Obr. 1.9 – „TTT“ Portálové provedení	23
Obr. 1.10 – „TTT“ Sloupkové provedení	23
Obr. 1.11 – „RRT“ Sférická kinematika	23
Obr. 1.12 – Sférický pracovní prostor	23
Obr. 1.13 – „RRT“ Scara robot	24
Obr. 1.14 – Cylindrický prostor	24
Obr. 1.15 – Angulární prostor	24
Obr. 1.16 – Angulární robot PR32	24
Obr. 1.17 – Moduly pro vytvoření libovolné struktury	25
Obr. 1.18 – Angulární a cylindrický modulární robot	25
Obr. 1.19 – Speciální efektor pro úchop myčky na nádobí	26
Obr. 2.1 – Obecná struktura uchopovacích efektorů	27
Obr. 2.2 – Dokovací stanice	28
Obr. 2.3 – Výměnný mechanismus s přídatnými moduly	28
Obr. 2.4 – Paralelní mechanické chapadlo	29
Obr. 2.5 – Magnetický koncový efektor	30
Obr. 2.6 – Přísavkový efektor	30
Obr. 3.1 – DHPS20-A	31
Obr. 3.2 – Funkční řez paralelního chapadla	31
Obr. 3.3 – Periferie efektoru	32
Obr. 3.4 – Schématická značka magnetického čidla SMAT-8M	32
Obr. 3.5 – Magnetické čidlo SMAT-8M	32
Obr. 3.6 – Funkce snímání čidla SMAT-8M	33
Obr. 3.7 – Jednotka úpravy stlačeného vzduchu	33

Obr. 3.8 – Způsoby ovládání poloh	34
Obr. 3.9 – (5/2) monostabilní elektricky ovládaný ventil s tlačítkem	34
Obr. 3.10 – Stanovení úchopné síly	35
Obr. 3.11 – Diagram firmy Festo pro stanovení úchopné síly.....	35
Obr. 4.1 – Technický výkres externích palců	36
Obr. 4.2 – AutoCAD návrh externích palců 3D model	36
Obr. 4.3 – Generování řídicího souboru v prostředí Cura	37
Obr. 4.4 – Externí palec	38
Obr. 4.5 – Paralelní efektor DHPS20-A včetně externích palců	38
Obr. 5.1 – Části ramene průmyslového robotu Stäubli RX160	39
Obr. 5.2 – Model ramene Stäubli RX160	40
Obr. 5.3 – Limitní podmínky	40
Obr. 5.4 – Rozsah pohybů, rychlost a odchylka	40
Obr. 5.5 – Pracovní prostor robotu 1	41
Obr. 5.6 – Pracovní prostor robotu 2	41
Obr. 5.7 – Omezení pracovního prostoru	42
Obr. 5.8 – Kalibrační štítky	42
Obr. 5.9 – Výstupy základny	43
Obr. 5.10 – Pneumatický okruh robotu.....	43
Obr. 6.1 – Části kontroléru	44
Obr. 6.2 – Signály kontroléru CS8C.....	45
Obr. 6.3 – Kontrolní panel WMS	46
Obr. 6.4 – Přední strana MCP.....	47
Obr. 6.5 – Zadní strana MCP	47
Obr. 6.6 – Výběr pracovního módu	48
Obr. 6.7 – Tlačítko napájení ramene.....	48
Obr. 6.8 – Stop tlačítko	49
Obr. 6.9 – Pohybové klávesy	49
Obr. 6.10 – Režimy manuálního pohybu	50
Obr. 6.11 – Manuální pohyby	50
Obr. 6.12 – Tlačítko nastavení rychlosti.....	51
Obr. 6.13 – Funkční klávesy MCP	51
Obr. 6.14 – Klávesnice MCP	51
Obr. 6.15 – Navigační klávesy.....	52

Obr. 6.16 – Ovládací tlačítka aplikace.....	52
Obr. 6.17 – Blokovací mechanismus	53
Obr. 6.18 – Klávesy digitálních výstupů	53
Obr. 6.19 – JOG tlačítka	53
Obr. 7.1 – Stäubli robotics suite software.....	54
Obr. 7.2 – VAL3, uniVAL, VALproduct	54
Obr. 7.3 – Cell manager.....	55
Obr. 7.4 – Transfer manager	56
Obr. 7.5 – Emulátor manuálního ovladače MCP	57
Obr. 7.6 – 3D studio.....	57
Obr. 7.7 – VAL3 editor.....	58
Obr. 8.1 – Struktura aplikace	59
Obr. 8.2 – Hodnoty proměnné jPoint.....	60
Obr. 8.3 – Příkaz MOVEJ.....	61
Obr. 8.4 – Příkaz MOVEL.....	61
Obr. 8.5 – Rozměry nástroje.....	62
Obr. 8.6 – Definování rádiusů	62
Obr. 8.7 – Geometrická struktura bodu	63
Obr. 8.8 – Učení bodů s MCP.....	63
Obr. 9.1 – Aplikace pick&place	64
Obr. 9.2 – Program start().....	64
Obr. 9.3 – Program task()	65
Obr. 9.4 – Úryvek kódu pick&place.....	65
Obr. 9.5 – Souřadnice bodů	66
Obr. 9.6 – Nastavení nástroje.....	66
Obr. 9.7 – Nastavení rychlosti	66

SEZNAM TABULEK

Tab. 1.1 – Základní kinematické dvojice průmyslových robotů	18
Tab. 1.2 – Dělení podle počtu stupňů volnosti	19
Tab. 5.1 – Části ramene	39
Tab. 5.2 – Klasifikace ramene Stäubli RX160	39

ÚVOD

Průmyslové roboty začaly vznikat v období 60. let 20. století. Již roku 1956 začali američtí inženýři Georg Devol a Joseph Engelberger spolupracovat na vývoji prvního průmyslového robotu. O dva roky později založili firmu Unimation, kde vyráběli svého prvního hydraulicky ovládaného robota Unimate 1900. Roboty tohoto typu byly nasazeny u General Motors za účelem uvolnění žhavých a těžkých odlitků z formy. Postupný vývoj byl natolik rychlý, že se již v 80. letech běžně nasazovaly ve strojírenské výrobě (Skařupa, 2007).

V současnosti je zájem výrobních firem o nasazení robotů ještě intenzivnější než dříve. Důvody proč investovat do robotů mohou být technické (snížení zmetkovitosti, zlepšení kvality produktu, pružná reakce na měnící se požadavky trhu), ekonomické (zefektivnění výroby, úspora pracovního místa a uvolnění kvalifikovaných pracovníků) či sociální (uplatnění v aplikacích, které jsou pro člověka složité monotónní nebo zdraví škodlivé) (Kohout, 2008).

Slovo robot bylo poprvé použito v roce 1920 v divadelním dramatu R.U.R. – Rossum's Universal Robots Karla Čapka. Mnoho lidí přisuzuje vznik slova robot právě Karlu Čapkovi. Málokdo však tuší, že samotný vznik slova má na svědomí jeho bratr, malíř a spisovatel Josef Čapek. Je třeba upozornit, že Čapek užíval slovo robot v životném tvaru (skloňování podle vzoru pán), zatímco technická terminologie odpovídá neživotnému tvaru (skloňování podle vzoru hrad) (Řeháková, 2014).

V praxi existují definice robotu, nicméně jednoznačná shoda mezi odborníky nad sjednocením tohoto pojmu není. To je zapříčiněno tím, že je to velmi složitý technický systém, který zasahuje do mnoha vědních disciplín. Specialisté z různých oborů pak často preferují svůj pohled na tuto problematiku (Skařupa, 2007).

Nejčastěji používané pojmy jsou definovány v normě ISO 8373 (Manipulační průmyslové roboty – Slovník), která obsahuje termíny použité ve vztahu k robotům provozovaným jak v průmyslových, tak i v neprůmyslových prostředích. Normu vydala Mezinárodní organizace pro standardizaci (Skařupa, 2007).

Základní pojem průmyslový robot je v ní definován následujícím způsobem: „Průmyslový robot je automaticky řízený, reprogramovatelný, víceúčelový manipulační stroj, stacionární nebo umístěný na pojezdu, určený k použití v průmyslové automatizaci.“ (Skařupa, 2007).

1 TŘÍDĚNÍ PRŮMYSLOVÝCH ROBOTŮ A MANIPULÁTORŮ

Průmyslové roboty a manipulátory je možné rozdělit podle mnoha různých kritérií. Nejobecněji se rozlišují na víceúčelové (univerzální) a jednoúčelové. U jednoúčelových strojů je koncepce navržena přímo pro danou aplikaci. Opakem jsou víceúčelové stroje, které se dokáží přizpůsobit různým technologickým aplikacím. Z počátku byla klasifikace zaměřena na odlišnost manipulátorů a robotů z hlediska řízení a programování. Důležité pojmy, které byly zavedeny, jsou uvedeny níže.

- Synchronní manipulátory tvoří uzavřenou smyčku mezi člověkem a strojem. Tyto stroje se používají ke zlepšení manipulačních schopností operátora (zvýšení uchopovacích sil, zlepšení přesnosti apod.).
- Manipulátory s pevným programem jsou jednoduché stroje, které mají automatický řídicí systém. Nevýhodou je, že změna programu vyžaduje podstatně složitý zásah do systému.
- Manipulátory s pružným programem jsou z hlediska programování zařízení, u nichž výměna programu není složitá. Dělí se na průmyslové, adaptivní a kognitivní roboty.
- Adaptivní průmyslové roboty jsou vybaveny vyšší inteligencí řídicího systému a zpětnou vazbou, díky které se dokáží přizpůsobit změně okolí. Robotický systém sbírá aktuální data z čidel, díky kterým autonomně upravuje vložený algoritmus.
- Kognitivní roboty disponují s určitou, ne však definovanou mírou umělé inteligence, pomocí níž se na základě člověkem vytvořených algoritmů generuje program činností. Kognitivní robot by měl být schopen vnímat okolí, nalézt optimální varianty z více možností, učit se, nalézt znaky podobnosti, přizpůsobit se, předvídat a pracovat i při neúplné informaci.

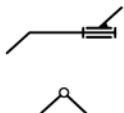
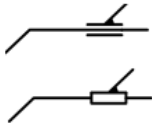
Průmyslové roboty lze detailněji klasifikovat podle kinematické struktury, počtu stupňů volnosti, druhu pohonů, vykonávaných činností, podle geometrie pracovního prostoru. Podrobnější rozdělení je uvedeno níže (Skařupa, 2007; Kohout, 2008).

1.1 KINEMATICKÁ STRUKTURA

K popisu kinematické struktury průmyslových robotů a manipulátorů se používá kinematický řetězec, který je tvořený kinematickými dvojicemi. Základní kinematické dvojice jsou uvedeny v tab. 1.1.

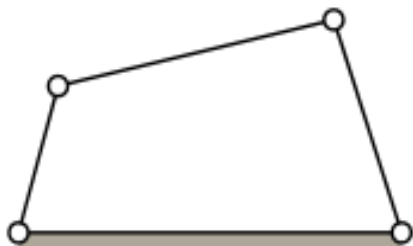
Dvojice se skládají z článků a vazeb (kloubů). Vazby u průmyslových robotů jsou z pravidla rotační (R) nebo posuvné (T). Aby se jednalo o mechanismus, musí být jeden člen připevněn k zemi (Skařupa, 2007).

Tab. 1.1 – Základní kinematické dvojice průmyslových robotů

Kinematická dvojice	Počet stupňů volnosti	Značení	Zobrazení
Rotační	1	R	
Posuvná	1	T	

Řetězce jsou otevřené (obr. 1.1) nebo uzavřené (obr. 1.2). U otevřeného řetězce jsou některé členy připojeny pouze jednou kinematickou dvojicí. Pokud je každý člen řetězce připojen nejméně dvěma kinematickými dvojicemi, jedná se o uzavřený řetězec.

Zatímco sériový robot (obr. 1.4) se vyznačuje otevřeným řetězcem (open-loop chain), paralelní robot (obr. 1.3) uzavřeným řetězcem (closed-loop chain). Hybridní robot je kombinací obou řetězců (Skařupa, 2007).



Obr. 1.1 – Uzavřený řetězec
(Skařupa, 2007)



Obr. 1.2 – Otevřený řetězec (Úvod
do robotiky, 2007)



Obr. 1.3 – Paralelní robot
Fanuc (Skařupa, 2007)



Obr. 1.4 – Sériový robot fy
Yaskawa (Skařupa, 2007)

1.2 POČET STUPŇŮ VOLNOSTI

Stupeň volnosti (DOF degree of freedom) je parametr sloužící k jednoznačnému určení pohybu tělesa v prostoru. K úplnému určení pohybu tělesa v trojrozměrném prostoru je zapotřebí šest stupňů volnosti – tedy posun po ose X, Y, Z a rotace v ose X, Y, Z (Švejda, 2011).

Níže je uvedena tab. 1.2, ve které je rozdělení robotů podle počtu stupňů volnosti. Redundantní roboty se vyznačují lepšími manipulačními schopnostmi. Využívají se například ve stísněných prostorech, nebo kde je nutné obcházet překážky. Deficitní roboty se používají ve snadnějších aplikacích, jako je manipulace v rovině. Jsou to některé ze Scara robotů, které se vyznačují třemi nebo čtyřmi stupni volnosti (Skařupa, 2007).

Tab. 1.2 – Dělení podle počtu stupňů volnosti

Obecný název robota	Počet stupňů volnosti
Univerzální	6
Redundantní	více než 6
Deficitní	méně než 6

1.2.1 Výpočet počtu stupňů volnosti

Počet stupňů volnosti robotu lze vypočítat pomocí Grüblerova kritéria, který má tvar

$$F = \lambda \cdot (n - g - 1) + \sum_{i=1}^g f_i, \quad (1.1)$$

nebo modifikací

$$F = \lambda \cdot (n - 1) + \sum_{i=1}^g (\lambda - f_i), \quad (1.2)$$

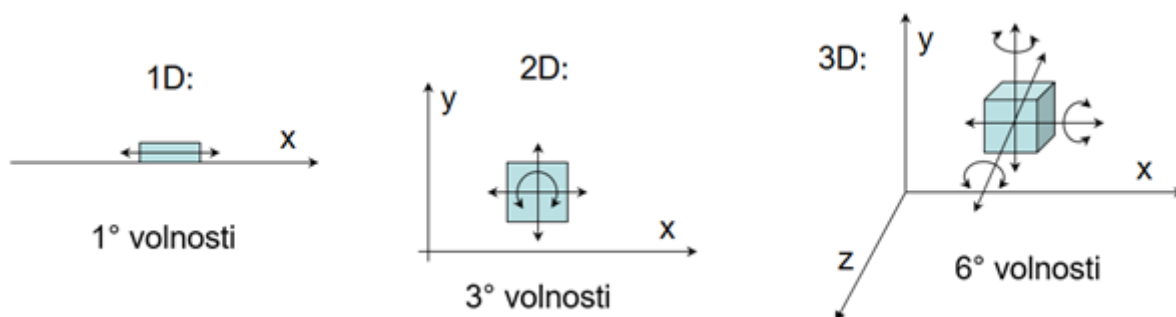
kde F je počet stupňů volnosti robotu,

λ – počet stupňů volnosti pro jednoznačné určení polohy předmětu (obr. 1.5),

n – počet členů mechanismu včetně rámu,

g – počet kinematických dvojic,

f_i – stupně volnosti kloubu (Vintr, 2013).



Obr. 1.5 – Stupně volnosti předmětu (Kinematika robotů, 2015)

1.3 DRUH POHONU

Pohon obecně uvádí stroj do pohybu. Konkrétně je tvořen motorem starajícím se o přeměnu vstupní energie na mechanický pohyb. Výběr druhu pohonu závisí především na vykonávané činnosti robotu. V průmyslu jsou nejčastěji použity elektrické servopohony. Můžeme se ale setkat i s jinými typy.

U aplikací vyžadující velké nosné síly se využívají hydraulické pohony. Dalším typem mohou být pneumatické, které se využívají při vysokých rychlostech. Roboty tedy mohou mít pohony elektrické, hydraulické nebo pneumatické (Skařupa, 2007).

1.4 OBLAST NASAZENÍ A ČINNOST

V technické praxi je aplikováno rozdělení robotů na servisní a průmyslové. Průmyslové jsou spojovány převážně s výrobními procesy.

Opakem jsou servisní, které provádí užitečné aplikace vyjma průmyslové automatizace. Využívají se v širokém spektru aplikací, které mohou být pro člověka jednak nebezpečné, tak i těžko přístupné. Vyznačují se dobrou mobilitou. Příkladem je japonský servisní robot Malý měsíčník (obr 1.7), který je určen ke zkoumání prostoru zamořeného radiací. Pomocí dvou kamer a dozimetru analyzuje data z poškozeného reaktoru jaderné elektrárny ve Fukušimě, v níž došlo roku 2011 k tragické havárii.

Druhým příkladem je chirurgický robot da Vinci (obr. 1.6), který se skládá ze dvou nebo tří ramen, jehož systém simuluje pohyby lidských rukou. Vzhledem k tomu, že je ovládán pomocí konzol, může lékař operovat i mimo operační sál.

Dalšími představiteli jsou: domácí obslužné roboty, automatické osobní vozíky, pomocné roboty pro osobní mobilitu, roboty pro hašení apod. (Skařupa, 2007).



Obr. 1.6 – Chirurgický robot da Vinci (Hejtmánek, 2016)



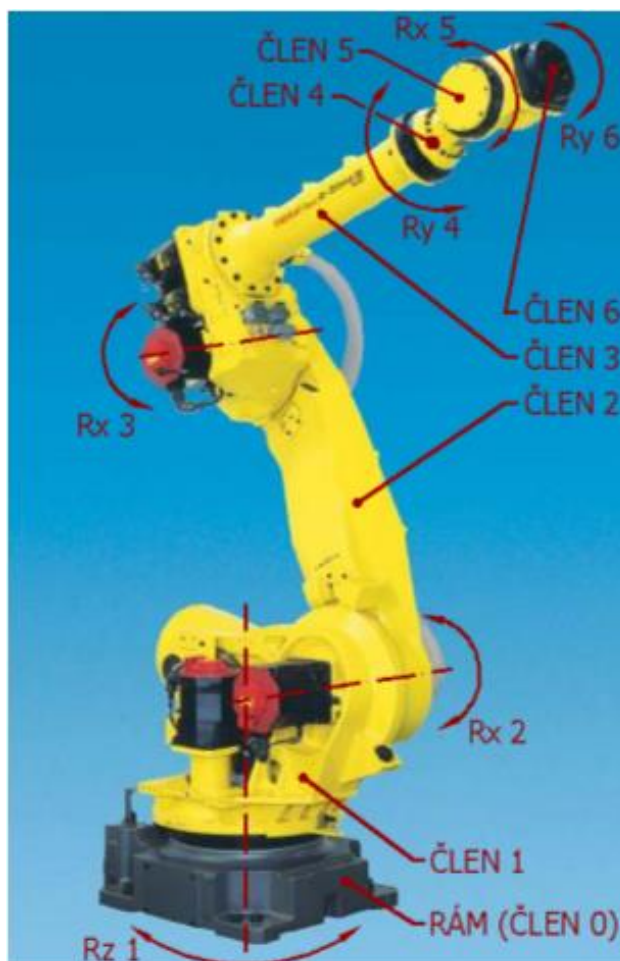
Obr. 1.7 – Malý měsíčník (Malý měsíčník, 2016)

1.5 GEOMETRIE PRACOVNÍHO PROSTORU

Průmyslové roboty a manipulátory utváří pracovní prostor, který je charakterizován svou geometrií. Může být kartézský, cylindrický, sférický nebo angulární.

S prostorem souvisí vykonávané pohyby robotu, které rozlišujeme na globální, regionální a lokální. Globální neboli pojezdové pohyby slouží k mobilizaci robota a jsou k vidění spíše u servisních robotů, např. pásy robota.

Regionální a lokální pohyby jsou znázorněny na obr. 1.8. Robot je přidělán prostřednictvím rámu (nepohyblivá část) tvořící člen 0. Členy 1–3 vykonávají regionální pohyb sloužící pro přesun ramene na větší vzdálenosti. Orientační ústrojí je znázorněno členy 4–6 a provádí lokální pohyby. Vzhledem, ke které ose souřadného systému se pohyb realizuje, se doplní značka indexem – Rx, Ry, Rz, Tx, Ty, Tz (Skařupa, 2007).

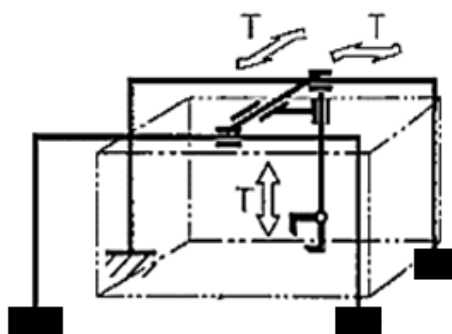


Obr. 1.8 – Regionální a lokální pohyby
(Skařupa, 2007)

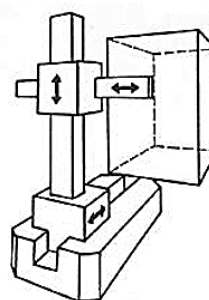
1.5.1 Kartézský prostor – PRaM typu „TTT“

Kinematika „TTT“ je základní typ kinematiky tvořící kartézský prostor. Skládá se ze tří vzájemně lineárně kolmých translačních pohybů. Pro určení polohy se používají kartézské souřadnice XYZ.

U tohoto typu kinematiky je pracovní prostor tvořen kvádrem nebo krychlí. Výhody jsou jednoduché řízení, velký rozsah pohybu a stabilita. Tato kinematika se používá ve velkoskladech pro přemístění palet nebo přepravek. Robot může být v portálovém (obr. 1.9) nebo sloupovém (obr. 1.10) provedení (Staněk, 2009).



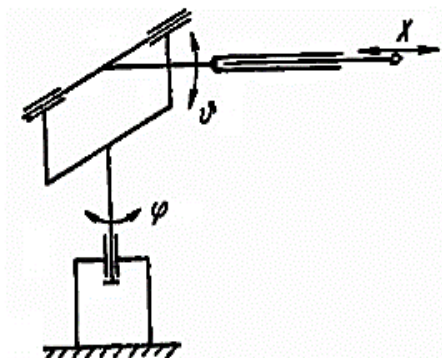
Obr. 1.9 – „TTT“ Portálové provedení
(Šípál, 2014)



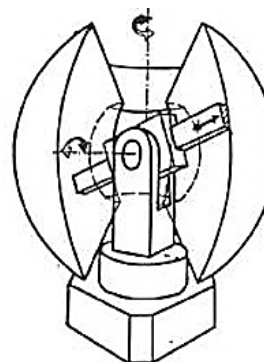
Obr. 1.10 – „TTT“ Sloupové provedení
(Falta, 2014)

1.5.2 Sfěrický prostor – PRaM typu „RRT“

Varianta „RRT“ umožňuje manipulaci ve sférickém nebo kulovém pracovním prostoru. Pracovní prostor sférického robotu je znázorněn na obr. 1.12 (Staněk, 2009).



Obr. 1.11 – „RRT“ Sfěrická kinematika
(Kohout, 2008)

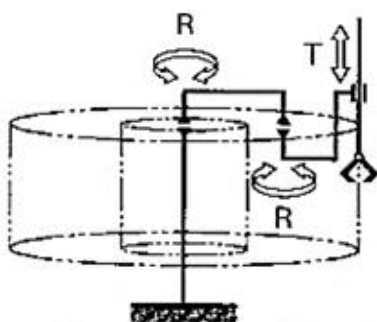


Obr. 1.12 – Sfěrický pracovní prostor
(Falta, 2014)

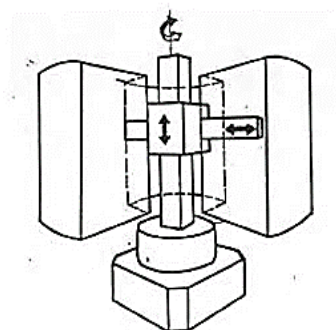
1.5.3 Cylindrický prostor – PRaM typu „RTT“ a „RRT“

Hlavním představitelem cylindrické kinematiky je typ „RTT“ (obr. 1.14) skládající se ze dvou translačních a jednoho rotačního pohybu. Vyznačuje se válcovým pracovním prostorem.

Dalším představitelem cylindrické kinematiky je typ „RRT“ (obr. 1.13). Výhody těchto robotů jsou vysoké rychlosti pohybu ve vodorovném směru a velká zatížitelnost ve svislém směru. Jedná se o základní typ Scara robotu. V praxi se častěji setkáváme s roboty, které jsou obohaceny o jednu rotační složku. Jsou využívány hlavně pro operace typu „seber a polož“. (Staněk, 2009).



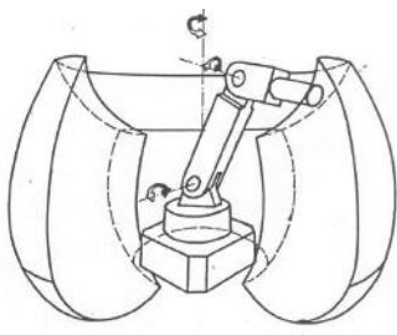
Obr. 1.13 – „RRT“ Scara robot
(Šípál, 2014)



Obr. 1.14 – Cylindrický prostor
(Falta, 2014)

1.5.4 Angulární prostor – PRaM typu „RRR“

Provedení „RRR“ tvoří angulární prostor (obr. 1.15). Roboty používající pouze rotační členy jsou nejrozšířenějším typem. Typickým představitelem varianty „RRR“ je např. československý průmyslový robot PR 32 (obr.1.16) (Staněk Michal, 2009).



Obr. 1.15 – Angulární prostor (Falta,
2014)



Obr. 1.16 – Angulární robot PR32 (robot
PR-32, 2011)

1.6 KOMPAKTNOST – UNIVERZÁLNÍ A MODULÁRNÍ KONSTRUKCE

Univerzalitu průmyslových robotů zde chápeme jak z možnosti nasazení pro velkou řadu aplikací, ale také z hlediska konstrukčního. U univerzálních robotů jsou pohyblivé jednotky mezi sebou provázané (závislé) a tvoří funkční celek. Oproti tomu u modulárních je každá polohovací jednotka samostatně funkční.

Pomocí vyráběných sad polohovacích jednotek (viz obr. 1.17) lze sestavit různé konstrukce (viz obr. 1.18). Výhodou je především cena, protože užití menšího počtu pohonných jednotek vede k výraznému snížení pořizovacích nákladů. Jednotlivé moduly jsou vyráběny ve vyšších sériích a dosahují tak vyšších kvalit. Stále přibývá více firem, které poskytují ucelené řady (Skařupa, 2007).



Obr. 1.17 – Moduly pro vytvoření libovolné struktury (Skařupa, 2007)



Obr. 1.18 – Angulární a cylindrický modulární robot (Skařupa, 2007)

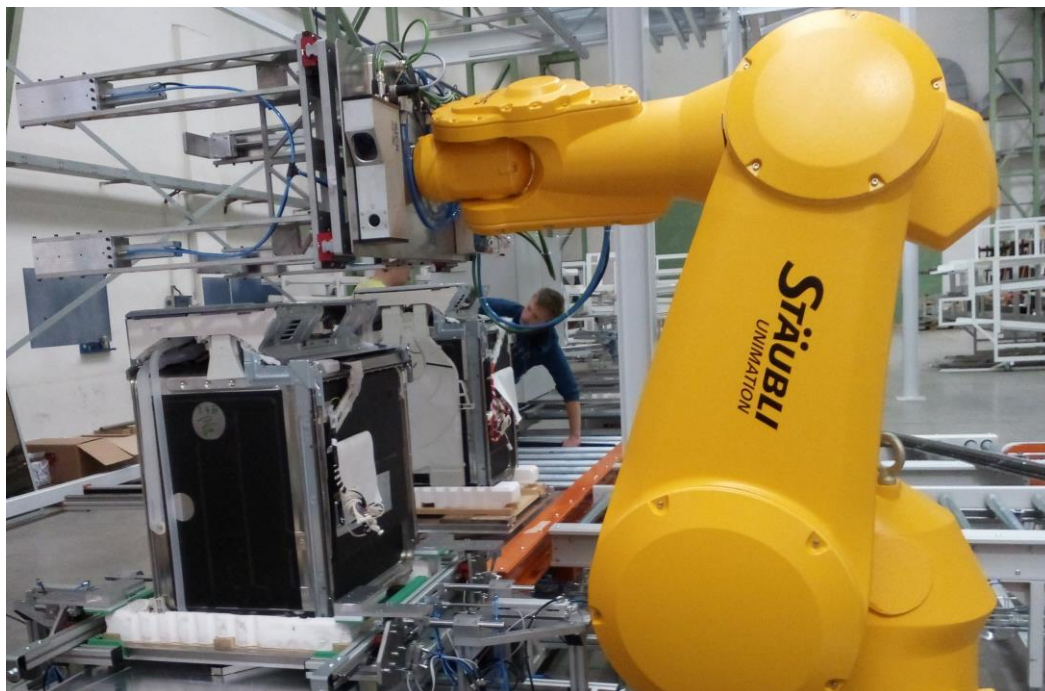
2 EFEKTORY PRŮMYSLOVÝCH ROBOTŮ

Efektor je nástroj robotu, který se upevňuje prostřednictvím interface na koncovou část orientačního ústrojí. Společně s průmyslovým nebo servisním robotem realizují požadovanou úlohu. V publikacích se můžeme setkat s pojmy jako hlavice, pracovní hlavice, chapadlo či koncový efektor. Koncové efekторы se klasifikují na technologické, uchopovací, hybridní či speciální.

Technologické jsou zmiňovány v souvislosti s chemickými procesy. Mezi standardní technologické operace průmyslových robotů je řezání nebo gravírování laserem. Oproti tomu uchopovací se zaměřují na fyzický proces. Jsou využívány k uchopení, přemístění a upuštění předmětu.

Jestliže se prolínají vlastnosti technologických a uchopovacích chapadel, tak se jedná o hybridní efekторы. Je samozřejmostí, že tato hrubá klasifikace nevystihuje všechny typy efektorů. Proto byly zavedeny speciální efekторы.

Standardní typy efektorů se pořizují u specializovaných firem jako je například Festo, Schunk. Mohou nastat operace kdy je zapotřebí speciální efektor (obr. 1.19). V těchto případech se nabízí dva typy řešení. Efektor si můžeme svými vlastními silami vyrobit nebo se poptat firem, které se specializují jejich vývojem. V této práci se věnuji uchopovacím efektorům, které jsou popsány níže (Skařupa, 2007).

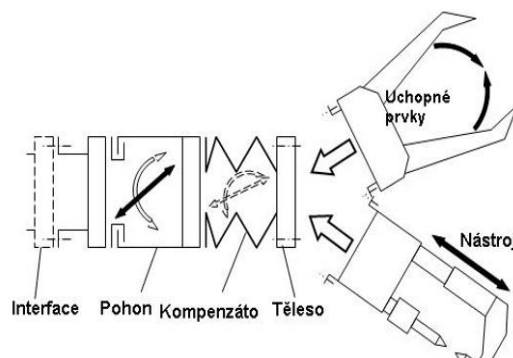


Obr. 1.19 – Speciální efektor pro úchop myčky na nádobí

2.1 OBECNÁ STRUKTURA UCHOPOVACÍHO EFEKTORU

Nelze přesně popsat základní strukturu uchopovacích efektorů. Důvodem je velká různorodost uchopovaných předmětů. Objekty mohou mít jiný tvar, hmotnost, skupenství apod. I přes tyto důležité vlastnosti jsou na obr. 2.1 uvedeny základní stavební prvky, ze kterých by se mohla úchopovací hlavice skládat.

- Interface robotu zajišťuje spojení mezi robotem a efektozem. Rozměry a parametry obou dílů jsou předepsány v normě ISO a ty musí souhlasit. U efektoru je nutné zajistit mechanické a energetické propojení, informační kabeláže apod.
- Pohon je zdrojem pohybu čelistí, který lze chápat jako doplňkový stupeň volnosti robotu.
- Kompenzační člen slouží k eliminaci nepřesností vyskytujících se při styku mezi objektem manipulace a úchopnými prvky. Není však podmíněným prvkem.
- Těleso je základní nosný stavební prvek.
- Úchopné prvky slouží k uchycení objektu manipulace. Jejich rozmístění v efektoru ovlivňuje velikost úchopné síly, určení polohy a orientace (Skařupa, 2007).



Obr. 2.1 – Obecná struktura uchopovacích efektorů (Skařupa, 2007)

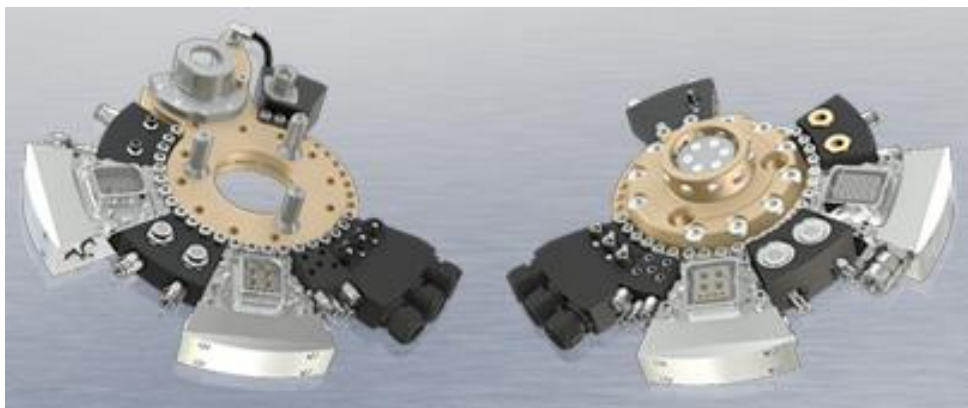
2.2 VÝMĚNNÝ MECHANISMUS

Standardně se používá pevné propojení mezi efektozem a přírubou robotu. Mohou však nastat operace, při kterých je zapotřebí svižně měnit efektor v průběhu pracovního cyklu. V těchto případech se používá tzv. výměnný mechanismus neboli tool changer (obr. 2.3). Ten se skládá ze dvou částí, kde jedna část je připojena k interface a druhá k efektoru robotu. Efektorová část je obohacena o kolíky, které slouží k navádění. Součástí mechanismu jsou senzory, které podávají informaci o stavu připojení.

Vazba mezi tělesy je řízena stlačeným vzduchem. Na obr 2.2 je vidět dokovací stanice (docking station), která slouží k odkládání nástroje. Žluté víko plní funkci ochrany konektorů před prachem a jinými nečistotami. Energetické vedení je realizováno pomocí přídatných modulů (obr. 2.3), které dokáží spojit různé druhy médií (stlačený vzduch, chladící kapalinu, hydrauliku, data, vláknovou optiku atd.).



Obr. 2.2 – Dokovací stanice (Robotic tool changer systems MPS for all payloads, 2016)



Obr. 2.3 – Výměnný mechanismus s přídatnými moduly (Robotic tool changer systems MPS for all payloads, 2016)

2.3 TYPY ÚCHOPOVACÍCH EFEKTORŮ (ÚE)

V praxi se nejčastěji vyskytují efekторы obsahující aktivní prvky. To je zapříčiněno tím, že u pasivních nastává problém s řízením úchopných sil. Potíž může nastat jak s uvolněním, tak i s úchopem manipulovaného předmětu. Nejčastěji se setkáváme s efektory využívající pneumatický pohon.

Jejich výhodou je snadné řízení, úprava a dostupnost stlačeného vzduchu. Dále jednoduché vedení tohoto média pomocí pneumatických hadic k efektoru robota. Lze se setkat i s efektory využívající hydraulický pohon, které jsou založeny na tlakové síle a nestlačitelnosti kapaliny. Výhodami jsou velké úchopné síly. Negativní vlastností je, že při havárii může dojít k úniku kapaliny. Efekторы mohou také ke své činnosti využívat elektropohon. V tomto směru je to velká výhoda, protože při práci s elektro roboty jsme omezeni pouze na jedno médium. Nevýhodami jsou uchopovací síly, složitější konstrukce a hlavně cena.

Obecně platí, že rozmístění a počet úchopných prvků charakterizuje velikost úchopné síly, polohu a orientaci objektu. Koncept úchopného efektoru může být založen na mechanickém, magnetickém nebo podtlakovém principu (Skařupa, 2007; Kratochvíl, 2013).

2.3.1 Mechanické ÚE

Aktivní mechanické efekторы jsou nejrozšířenějším druhem vůbec. Ke své mechanické činnosti využívají pohon. Může se jednat například o efekторы paralelní, třibodové, úhlové nebo radiální. Mezi významné prodejce patří například firmy Kuka, Festo a Schunk.

V praxi se můžeme také setkat s pasivními mechanickými efektory, které se vyznačují lehkou konstrukcí. Objekt přidržují pomocí gravitačních účinků. U těchto efektorů je nutná zvýšená pozornost při optimalizaci rychlostí, protože u nich nejsou vhodné velké akcelerace a zpomalení. Úchopné prvky jsou nejčastěji typu háku, jednoduchých čelistí apod. (Skařupa, 2007; Kratochvíl, 2013).



Obr. 2.4 – Paralelní mechanické chapadlo (Schunk MPG, 2015)

2.3.2 Magnetické ÚE

Pokud se jedná o lehčí součástky z feromagnetického materiálu, můžeme využít pasivní magnetické efekty vyznačující se lehkou konstrukcí. Problém nastává s uvolněním součásti, kdy je zapotřebí strhnout součást.

Aktivní magnetické úchopné hlavice využívají k úchopu elektromagnet napájený stejnosměrným proudem, který generuje magnetické pole. Působením magnetického pole se předmět zmagnetizuje a dochází k vzájemnému silovému působení. Demagnetizování součástky probíhá za pomoci opačné polarity stejnosměrného proudu, které je vykonáno obrácením směru proudu v budícím vinutí.

Nevýhodou magnetických efektorů je snížená uchopovací síla při vyšších teplotách. V některých případech dokonce může dojít k neúmyslnému zachycení jiných magnetických součástí (Skařupa, 2007; Jašíček 2013).



Obr. 2.5 – Magnetický koncový efektor (Bernier, 2014)

2.3.3 Podtlakové ÚE

Uchopovacími prvky jsou nejčastěji přísavky (obr. 2.6), které se přitlačují k manipulovanému objektu. Obdobně jako u magnetických a mechanických efektorů, jsou podtlakové úchopné efekty aktivní a pasivní. U pasivních dochází k přimáčknutí přísavky k objektu manipulace, následně se vytlačí vzduch uvnitř přísavky a předmět se uchopí. Jelikož se jedná o pasivní prvek, nastává zde problém s uvolněním objektu, který lze řešit pomocí mechanických prvků (narážek, dorazů), nebo zabudovaným vyhazovacím mechanismem přímo na konstrukci koncového efektoru.



Obr. 2.6 – Přísavkový efektor

Aktivní podtlakové úchopné efekty využívají ke své činnosti externí prvky vytvářející podtlak neboli vakuum (vývěva, ejektor) (Skařupa, 2007; Jelínek, 2010).

3 PARALELNÍ CHAPADLO DHPS20-A

Paralelní chapadla od firmy Festo se vyrábí v různých velikostech a variantách. Ke svému chodu využívají jednočinný či dvojčinný pneumatický pohon. K optimálnímu výběru velikosti efektoru je možné použít online softwarový návrh chapadel na webových stránkách firmy Festo.

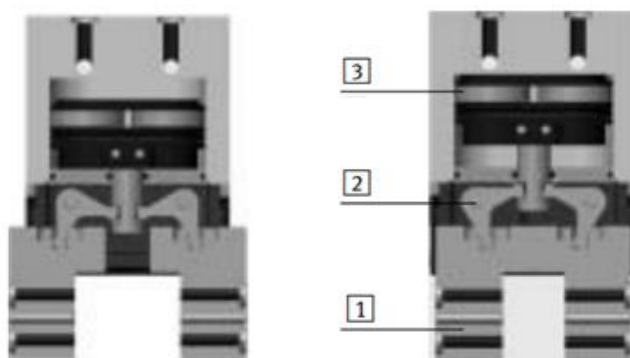
Varianta DHPS20-A disponuje dvojčinným pohonem s provozním tlakem 2 až 8 bar. K úchopu předmětu využívá dvě čelisti, na které se dají snadno přišroubovat externí úchopné palce. Podrobnější analýza je popsána níže (Paralelní chapadla DHPS, 2017).

3.1 POPIS FUNKCE MECHANICKÉHO CHAPADLA

Na obr. 3.1 a obr 3.2 je znázorněna funkce paralelního chapadla. Přivedením stlačeného vzduchu do L šroubení s nástrčnou hlavičkou (A) se píst s magnetem (3) vysune a převodní páka rozevře čelisti. Pokud přivedeme vzduch do šroubení (B), tak se čelisti (1) vrátí do původní polohy. K automatickému řízení stlačeného vzduchu je zapotřebí použít elektromagnetický ventil a výpočetní jednotka např.: PLC.



Obr. 3.1 – DHPS20-A

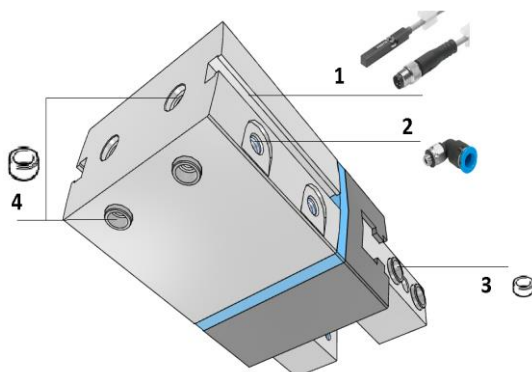


Obr. 3.2 – Funkční řez paralelního chapadla

(Paralelní chapadla DHPS, 2017)

3.2 PERIFERIE EFEKTORU

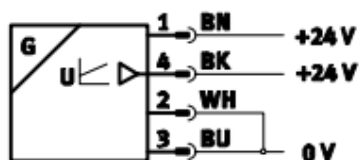
Na obr 3.3 jsou znázorněny periferie efektoru. Přívod stlačeného vzduchu je řešen pomocí L-šroubení s nástrčnou koncovkou (2). Poloha čelistí je snímána magnetickými čidly umístěnými se do T drážky (1). Pomocí středících dutinek ZBH (3) provádíme montáž externích palců. Díry se závitem (4) slouží pro montáž spojovací desky mezi chapadlem a interface robota (Paralelní chapadla DHPS, 2017).



Obr. 3.3 – Periferie efektoru (Paralelní chapadla DHPS, 2017)

3.2.1 Čidlo polohy SMAT-8M-U-E-0,3-M8D

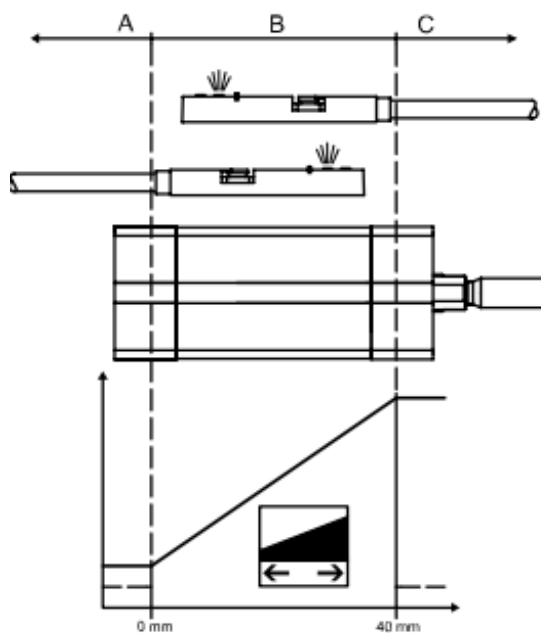
Čidlo SMAT-8M (obr 3.5) je běžně používané magnetické čidlo sloužící k zjištění polohy pístu u pohonů s magnetem na pístu. Připojuje se přímo k analogovým vstupům PLC. Čidlo měří v rozsahu 40 mm analogový signál (0; 10) V (obr. 3.6), který je lineárně závislý k poloze pístu. Jestliže se píst pohybuje směrem k pístnici, napětí stoupá. Pokud se píst zasouvá, napětí na vstupu klesá. Orientace montáže nemá žádný vliv na signál. Schématická značka magnetického čidla viz obr 3.4 (Čidla polohy SMAT-8M, 2016).



Obr. 3.4 – Schématická značka magnetického čidla SMAT-8M (Čidla polohy SMAT-8M, 2016)



Obr. 3.5 – Magnetické čidlo SMAT-8M (Čidla polohy SMAT-8M, 2016)



Obr. 3.6 – Funkce snímání čidla SMAT-8M
(Čidla polohy SMAT-8M, 2016)

3.2.2 Jednotka úpravy stlačeného vzduchu

Aby nedošlo k poškození zařízení využívajících pneumatiku, je zapotřebí regulovat jemnost neboli čistotu stlačeného vzduchu za pomoci jemného filtru. K nastavení úchopné síly se musí nastavit provozní tlak vzduchu, který se reguluje pomocí redukčního ventilu. Ke znázornění tlakové síly je možné využít manometr.

Na obr. 3.7 je znázorněna jednotka úpravy stlačeného vzduchu obsahující redukční ventil, jemný filtr a manometr LFR-D-5M-MIDI E243 (Redukční ventily s filtrem LFR/LFRS, 2013).



Obr. 3.7 – Jednotka úpravy
stlačeného vzduchu

3.2.3 Elektromagnetické ventily

Pneumatické ventily řídí směr toku proudu stlačeného vzduchu, popřípadě vakua. K elektrickému řízení se používají nejrůznější typy pneumatických ventilů s elektromagnetickým ovládáním. Funkce ventilů se značí dvěma čísly, která jsou oddělená lomítkem. První číslo udává počet cest a druhé počet poloh. Způsoby přepínání mezi polohami ventilů lze vidět na obr. 3.8 (Ventily, 2010).

Způsoby přepínání mezi polohami ventilů			
	návrat ventilu pružinou		páčka
	cívka, elektrické ovládání		páčka s aretací
	pneumatický signál		pedál
	pneumatický signál		pedál s aretací
	hříbek		narážka
	hříbek s aretací		kladka
	tlačítko		sklopná kladka

Obr. 3.8 – Způsoby ovládání poloh (Ventily, 2010)

Ventily rozlišujeme na monostabilní a bistabilní. Monostabilní mají pružinový návrat (Přivedením signálu se změní poloha ventilu, ale jakmile signál zmizí, ventil se vrací do základní polohy). U monostabilních ventilů se uvádí, zda je ventil v základní poloze otevřený nebo zavřený. Používá se značení NC nebo NO (normally closed, normally open). U bistabilních ventilů nedochází k navracení do základní polohy. Na obr. 3.9 je znázorněn (5/2) monostabilní elektricky ovládaný ventil s tlačítkem.

Elektromagnetické ventily nejčastěji vyžadují stejnosměrné napětí 24 VDC. Běžně se však na trhu setkáváme i s ventily spínanými 5 VDC, 12 VDC nebo 230 VAC (Ventily, 2010).

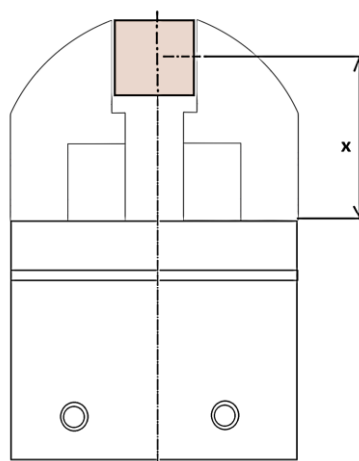


Obr. 3.9 – (5/2) monostabilní elektricky ovládaný ventil s tlačítkem (Ventily, 2010)

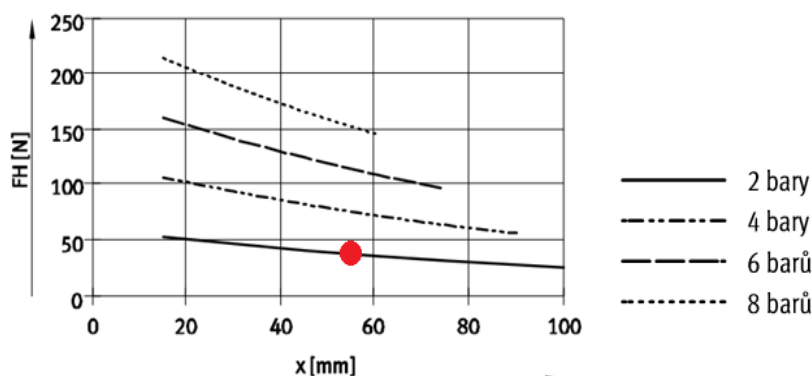
3.3 VELIKOST UCHOPOVACÍ SÍLY

Pro podrobnější analýzu je možné využít software Festo, do kterého se zadají údaje o výrobku (hmotnost, potřebný zdvih, poloha chapadla, provozní tlak, koeficient tření, teplota zařízení a koeficient bezpečnosti). Program vyhodnotí požadovanou přídržnou statickou a dynamickou sílu. Dále spočítá maximální hodnoty, pro které je efektor navržen. K úchopu dřevěné kostky o hmotnosti 20 g a hodnotě $x = 55$ mm (obr. 3.10) je podle SW Festo požadovaná dynamická síla 0,47 N.

Maximální velikost síly úchopu je také možné získat z diagramu firmy Festo (obr. 3.11). Velikost je závislá na provozním tlaku a na ramenu páky. Při hodnotě $x = 55$ mm a tlaku 2 Bar je výsledná síla efektoru 43 N. Z toho plyne, že požadovaná hodnota vůči maximální je přibližně 1 %, což je vyhovující (Paralelní chapadla DHPS, 2017).



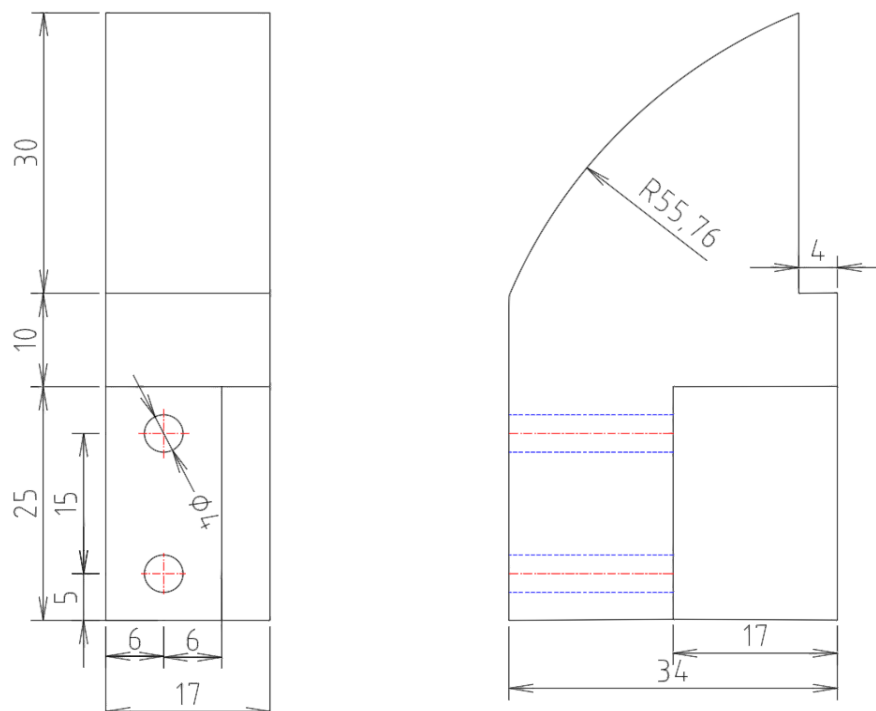
Obr. 3.10 – Stanovení úchopné síly



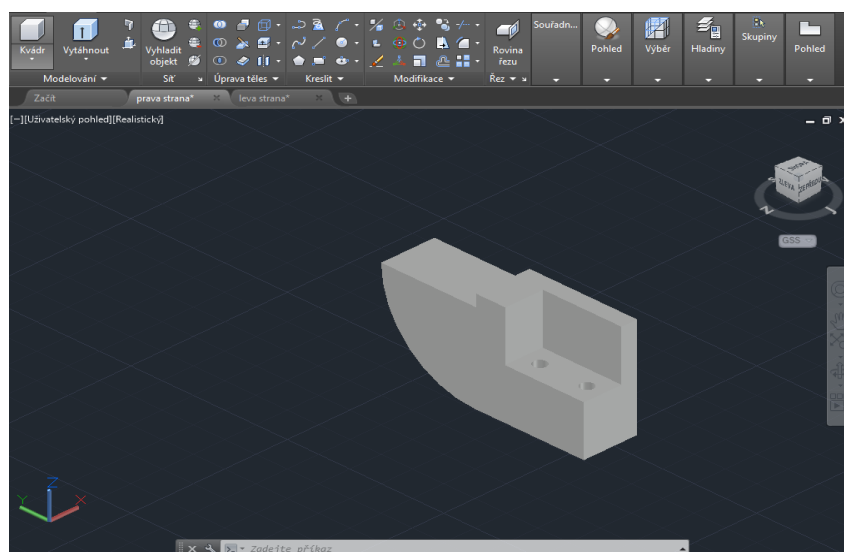
Obr. 3.11 – Diagram firmy Festo pro stanovení úchopné síly (Paralelní chapadla DHPS, 2017)

4 ÚPRAVA EFEKTORU

Navrhl jsem externí palce, které jsou určeny k manipulaci bukových kostek o rozměrech 29,5 x 29,5 x 29,5 mm. Kostky jsou bez povrchové úpravy a mají zaoblené hrany s poloměrem 1,7 mm. Palce byly navrženy prostřednictvím softwaru AutoCAD tak, aby byly schopné uchopit předměty v rozmezí 26 mm až 42 mm. K jejich výrobě jsem zhotovil 2D výkres a 3D model ve formátu STL.



Obr. 4.1 – Technický výkres externích palců



Obr. 4.2 – AutoCAD návrh externích palců 3D model

4.1 REALIZACE ÚPRAVY S VYUŽITÍM 3D TISKU

K realizaci externích palců jsem využil poměrně novou technologii FDM. Jedná se o trojrozměrný tisk, kde objekty vznikají tavením tenkého materiálu z plastu. K vytištění objektu bylo potřeba vygenerovat řídicí soubor, který popisuje celý proces tisku od začátku až do konce. Řídicí instrukce provádí elektronická jednotka komunikující s periferiemi. K vytvoření řídicího souboru je možné použít například software CURA nebo Slic3r.

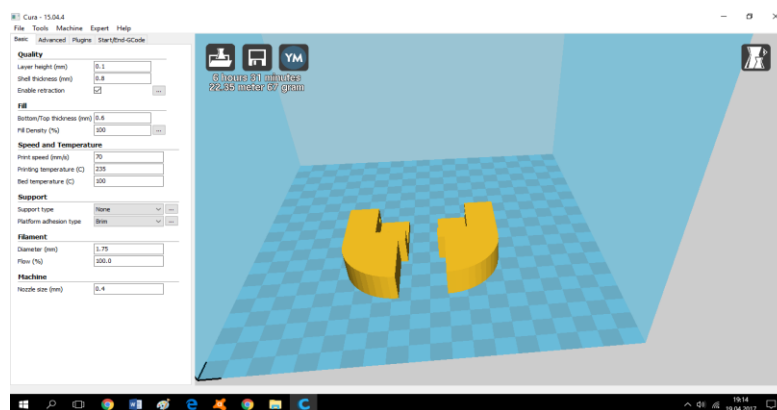
4.1.1 Součástky 3D tiskárny a jejich funkce

Srdcem 3D tiskárny je základní deska komunikující se vstupně výstupními komponenty (termistory, koncové spínače, displej, větráčky, topné těleso, vyhřívaná podložka a krokové motory). Krokové motory zajišťují pohyb posuvné jednotky v osách X, Y, Z. Na základě sepnutí koncových spínačů je odpočítávána poloha posuvné jednotky.

Pomocí držáku je na posuvné jednotce umístěno topné těleso s tryskou, jejíž teplota je snímána termistorem. Extruder vytlačuje z trysky materiál na vyhřívanou podložku. Displej slouží jako interface, pomocí kterého můžeme ovlivnit nastavení tisku (teplotu trysky, vyhřívané podložky atd.).

4.1.2 Vygenerování řídicího souboru pro 3D tisk

K vygenerování řídicího souboru jsem použil software Cura (obr. 4.3). Externí palce jsem vytiskl pomocí trysky o průměru 0,4 mm z pevného materiálu ABS. Z důvodu stabilizace objektů jsem využil podporu první okrajové vrstvy. První tisk s 20 % výplní trval 2 hodiny a 32 minut. Druhý tisk se 100 % výplní trval 6 hodin a 31 minut. Výsledky tisku můžete vidět na obr. 4.4 a obr. 4.5.



Obr. 4.3 – Generování řídicího souboru v prostředí Cura



Obr. 4.4 – Externí palce



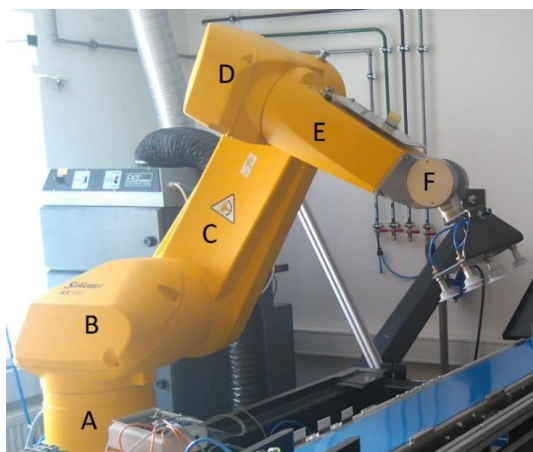
Obr. 4.5 – Paralelní efektor DHPS20-A
včetně externích palců

5 PRŮMYSLOVÝ ROBOT STÄUBLI RX160

Průmyslový robot Stäubli s označením RX160 se skládá z robotického ramene, manuálního ovládání (MCP), kontrolního panelu (WMS) a kontroléru (CS8C). Všechny tyto zařízení jsou ve spojení s robotickou buňkou.

5.1 ROBOTICKÉ RAMENO

Rameno je tvořeno šesti články (obr. 5.1 a tab. 5.1), které jsou vzájemně spojeny klouby. Na zápěstí se upevňuje efektor. O pohyby ramene se starají bezkomutátorové servomotory, které mají svůj enkodér a parkovací brzdu. Rameno se umísťuje dovnitř buňky a lze ho upevnit na podlahu, zeď nebo na stropní konstrukci (Arm – RX series 160 family, 2014).



Obr. 5.1 – Části ramene průmyslového robotu Stäubli RX160

Tab. 5.1 – Části ramene

Název článku	Popis
základna	A
rameno	B
ruka	C
loket	D
předloktí	E
zápěstí	F

5.1.1 Klasifikace ramene

Tab. 5.2 – Klasifikace ramene Stäubli RX160

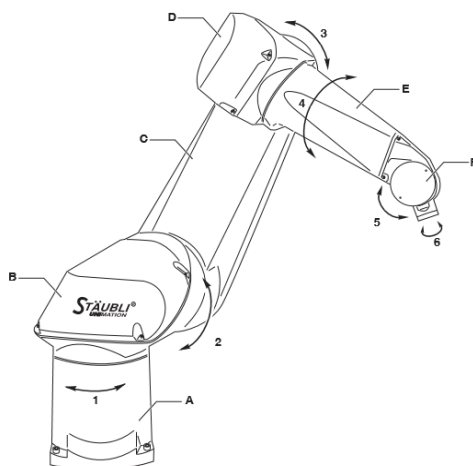
Kritérium:	Určení:
Kinematická struktura	Sériový– otevřený řetězec
Počet stupňů volnosti	Univerzální – šest stupňů volnosti
Druh pohonu	Elektrický
Vykonávaná činnost	Průmyslový
Pracovní prostor	Angulární prostor
Kompaktnost	Univerzální konstrukce

5.1.2 Technické specifikace

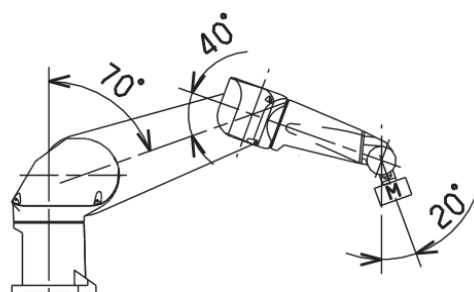
Firma Stäubli vyrábí řadu RX160 v různých variantách. U všech variant je volba horizontálního či vertikálního výstupu pro kabely. Je možné si vybrat mezi robotem určeného pro práci ve sterilním, vlhkém nebo biologicky znečištěném prostředí. Rameno s HD konfigurací má zesílené zápěstí a varianta L je doplněna o prodloužené zápěstí.

Standardní rameno váží 248 kg a v těžišti nákladu dosahuje rychlosti až 10.3 m/s. V obr. 5.4 jsou uvedeny podrobnější rychlosti částí a rozsahy pohybů natočení jednotlivých článků kolem své osy (obr 5.2, obr 5.5 a obr 5.6).

Při celkově možném zatížení je nutné brát v úvahu rychlost robotu, hmotnost efektoru, hmotnost manipulovaného objektu a možné další zátěže na předloktí. Během nominální rychlosti dokáže rameno manipulovat s předmětem o hmotnosti 20 kg, při snížené rychlosti až s 30 kg. Maximální nosnost je až 34 kg. Rameno nesmí překročit limity, viz obr. 5.3. Při hraničních nosnostech je doporučeno konzultovat přímo s výrobcem robotu (Arm – RX series 160 family 2014).



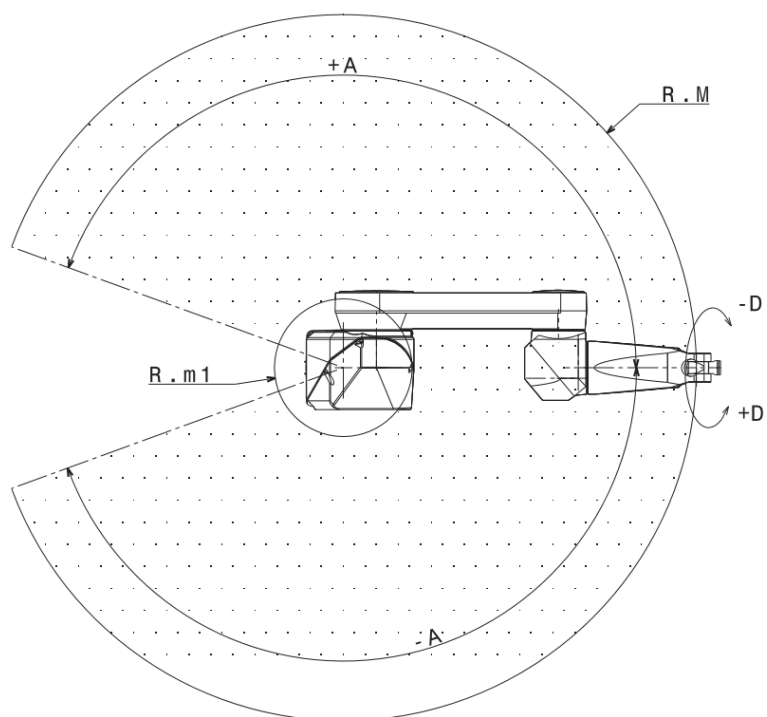
Obr. 5.2 – Model ramene Stäubli RX160(Arm – RX series 160 family 2014)



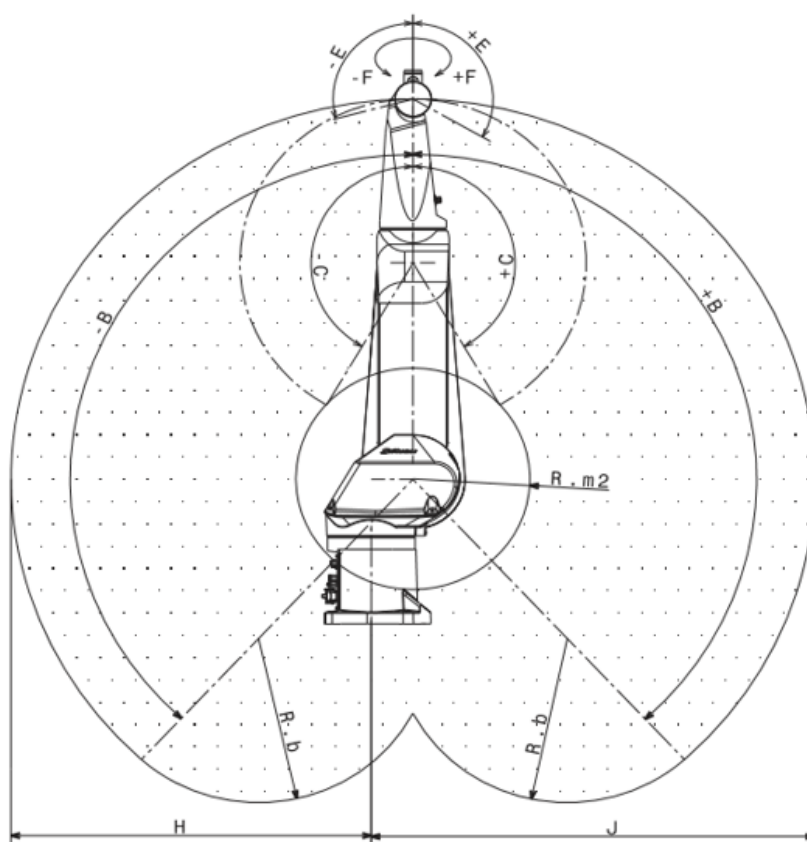
Obr. 5.3 – Limitní podmínky (Arm – RX series 160 family 2014)

Osa	1	2	3	4	5	6
Rozsah (°)	320	275 ⁽³⁾	300	540	225	540 ⁽¹⁾
Rozdělení pracovního rozsahu (°)	A ± 160	B ± 137.5	C ± 150	D ± 270	E ± 120	F ± 270
Nominální rychlost (°/s)	165	150	190	295	260	440
Maximální rychlost (°/s) ⁽²⁾	200	200	255	315	360	870
Úhlové rozlišení (°·10 ⁻³)	0.042	0.042	0.054	0.062	0.12	0.17

Obr. 5.4 – Rozsah pohybů, rychlost a odchylka
(Arm – RX series 160 family, 2014)



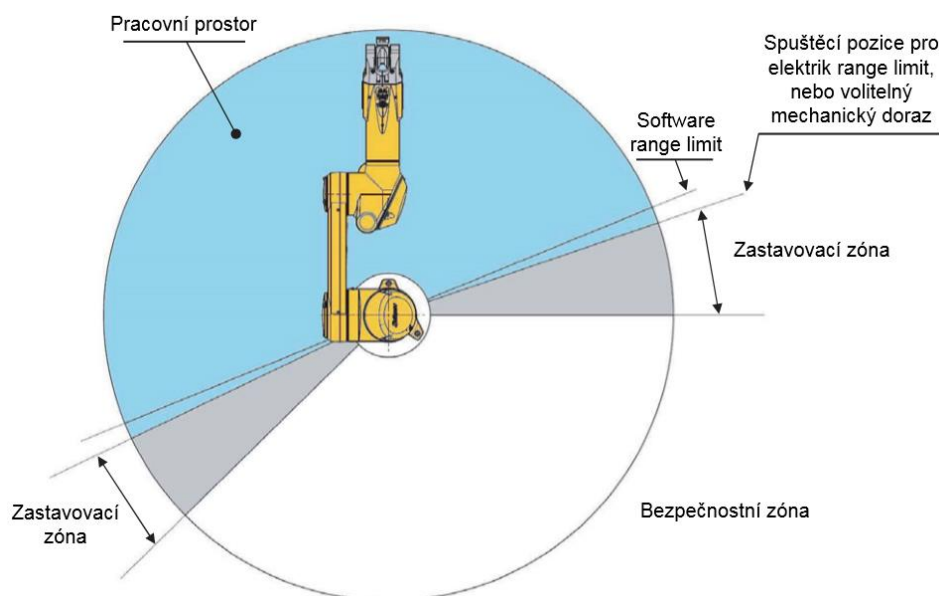
Obr. 5.5 – Pracovní prostor robotu 1 (Arm – RX series 160 family, 2014)



Obr. 5.6 – Pracovní prostor robotu 2 (Arm – RX series 160 family, 2014)

5.1.3 Omezení pracovního prostoru

Rameno je při instalaci nakonfigurováno tak, aby dosahovalo maximálně možných rozsahů pohybů. Jejich míra může být eliminována softwarem, montáží elektrického koncového spínače (pro osy 1, 2, 3), montáží mechanického koncového spínače (pouze osa 1) nebo pomocí volitelně nastavitelného dorazu.

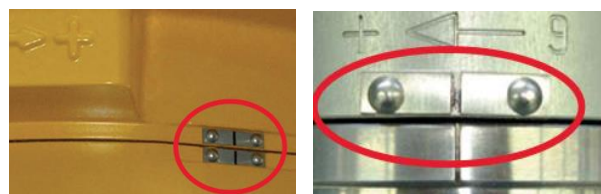


Obr. 5.7 – Omezení pracovního prostoru (Arm – RX series 160 family, 2014)

U volby elektrických nebo mechanických dorazů je nutné brát v úvahu setrvačnost robotu. Při použití volitelného nastavení mechanických dorazů se definuje software range limit (obr 5.7) o 2,5° menší než úhel amplitudy zastavovací zóny. Při používání mechanických dorazů je nutná zvýšená pozornost a důkladné testování, protože zastavovací zóna může být až 15°. Systém dorazů je schopný zastavit robota při zátěži a jmenovité rychlosti a je navržen tak, aby absorboval kinetickou energii osy (Arm – RX series 160 family, 2014).

5.1.4 Kontrola při kolizi

V případě kolize (nevhodně naprogramovaného pohybu nebo chybné manipulace) se doporučuje zkontrolovat funkčnost kontrolních mechanismů pomocí kalibračních štítků všech rotačních částí.



Obr. 5.8 – Kalibrační štítky

5.1.5 Zapojení ramene, elektrický a pneumatický okruh

Standardní rameno řady RX160 je propojeno s kontrolérem CS8C prostřednictvím J1201 konektoru (obr 5.9). Uvnitř ramene se nachází elektrický a pneumatický okruh. Elektrický okruh je tvořen konektorem s 19 piny, kde samčí (J1202) je umístěný na základně a samičí (J1203) na předloktí. Konektor J1204 slouží pro připojení ovládací skřínky k uvolnění brzd.

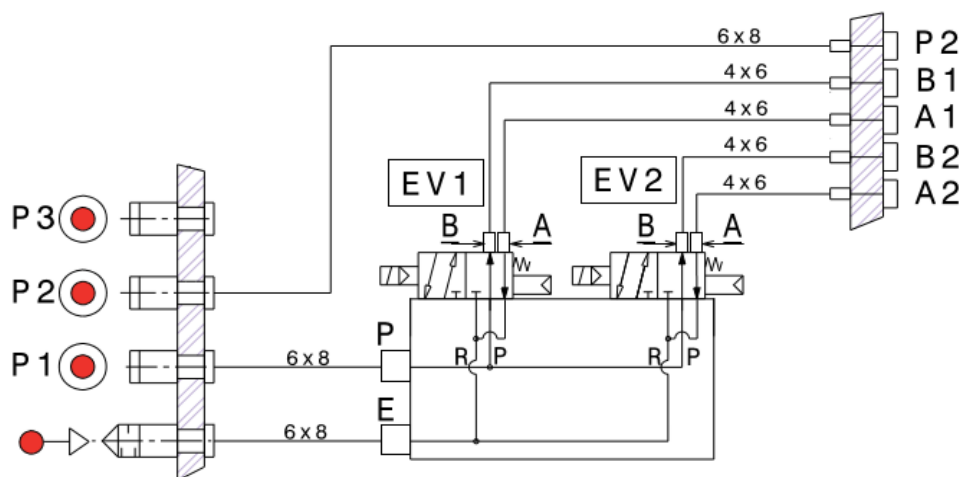
Součástí pneumatického okruhu jsou dva monostabilní 5/2 elektromagnetické ventily EV1 a EV2, které lze napájet stlačeným vzduchem nebo vakuem. Oba ventily obsahují škrtkový ventil pro regulování přísunu vzduchu.



Obr. 5.9 – Výstupy základny

Při použití ramene ve sterilním prostředí se jako zdroj používá vakuum. Mimo sterilní prostředí jsou oba ventily připojeny k síti stlačeného vzduchu P1 a nesmí přesahovat tlak vyšší 7 Bar. Schéma pneumatického okruhu je znázorněno na obr. 5.10.

Jestliže je ventil EV1 v základní poloze aktivní, tak je vývod B1 výstupem a A1 odfukem. Pokud ventil přepneme do druhé polohy, dojde k otočení řízení – A1 výstup a B1 odfuk. Mimo jiné rameno obsahuje přímé spojení P2 a pro přetlak můžeme použít vývod P3. Nástrčná šroubení P2, B1, A1, B2 a A2 jsou k dispozici na předloktí (Arm – RX series 160 family 2014).



Obr. 5.10 – Pneumatický okruh robotu (Arm – RX series 160 family 2014)

6 KONTROLÉR CS8C

Na obr. 6.1 je znázorněn kontrolér CS8C, jehož řídicím prvkem je procesor starající se o všechny části robotu. Kontrolér se umísťuje vně buňky a je napájen modulem napájení (PSM), který se stará o přeměnu elektrické energie pro napájecí zdroje RPS (napájení ramene) a APRS (pomocný zdroj). Kontrolér se s ramenem připojuje kabelem prostřednictvím dvou neodpojitelných konektorů (CS8C Kontrolér, 2016).

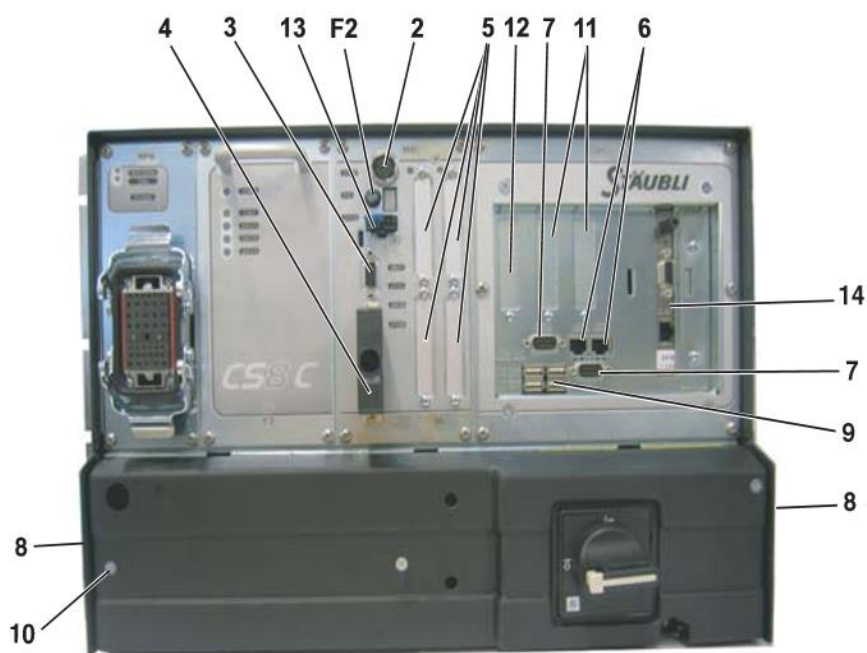


Obr. 6.1 – Části kontroléru (CS8C Kontrolér, 2016)

1. Výkonové zesilovače jsou řízeny CPU.
2. RPS je zdrojem energie pro motory ramene. Obsahuje ochranu proti přepětí. Tento mechanismus ke své činnosti používá rezistor regenerace.
3. Jednotka APRS napájí pomocné komponenty (chlazení, brzdy, řídicí procesor, enkodéry motorů, RSI atd.).
4. Deska RSI spravuje všechny signály hardware pro bezpečný chod robotu.
5. Počítač CPT s procesorem.
6. Hlavní vypínač pro zapnutí kontroléru.
7. PSM modul zajišťuje přeměnu elektrické energie.

6.1.1 Signály kontroléru

Níže jsou znázorněny signály kontroléru CS8C (obr. 6.2).



Obr. 6.2 – Signály kontroléru CS8C (CS8C Kontrolér, 2016)

1. Připojení manuálního ovládání (konektor).
2. Rychlé vstupy a výstupy – J111 (dva vstupy FAST IN 0, FAST IN 1 a jeden výstup FAST OUT 0).
3. Signály nouzového zastavení. Na obr. 6.2 je klema, která zanedbá všechny bezpečnostní prvky nouzového zastavení. Jsou jimi například dveře – J109.
4. Možnost připojení až dvou digitálních karet (BIO) podporující 16 vstupů a 16 výstupů.
5. Připojení ethernetu.
6. Sériové připojení.
7. Upevnění.
8. 4x USB port.
9. Konektor pro antistatický obal.
10. Možný vstup pro enkodér.
11. Výstup CAN pro roboty typu SCARA.
12. Konektor pro rozhraní operátora WMS J113.
13. Doplňková sběrnice.

6.2 KONTROLNÍ PANEL WMS (WORKING MODE SELECTION)

WMS (obr. 6.3) je bezpečnostní prvek, který se instaluje vně robotické buňky. Součástí panelu je stop tlačítko a odnímatelný třípolohový klíček pomocí něhož se volí pracovní mód. Lze si vybrat mezi lokálním, dálkovým nebo ručním režimem. Zvolený mód je zobrazen prostřednictvím kontrolky na WMS a MCP panelu (CS8C Kontrolér, 2016).



Obr. 6.3 – Kontrolní panel WMS (CS8C Kontrolér, 2016)

6.3 MANUÁLNÍ OVLADAČ MCP

Manuální ovladač (obr. 6.4 a obr. 6.5) je uživatelské rozhraní kontroléru CS8C, které zajišťuje komunikaci mezi kontrolérem a uživatelem. Umisťuje se společně s kovovým držákem vně buňky a je důležité, aby bylo z instalovaného místa vidět na rameno. Pomocí něj můžeme přivést napětí motorů a také manipulovat s ramenem. Jeho další funkce jsou popsány v následujícím textu (CS8C Kontrolér, 2016).



Obr. 6.4 – Přední strana MCP (CS8C Kontrolér, 2016)



Obr. 6.5 – Zadní strana MCP (CS8C Kontrolér, 2016)

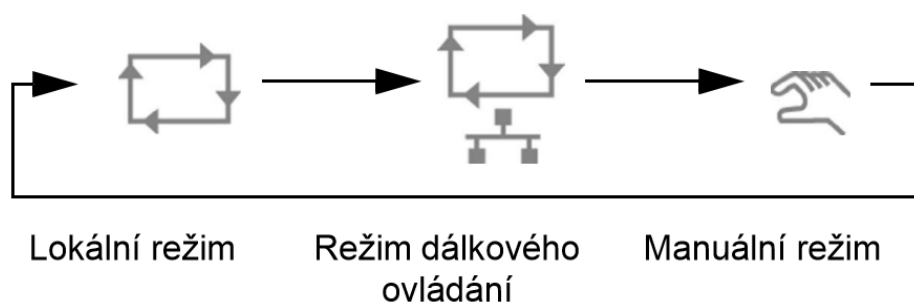
Funkční tlačítka:

1. Volba pracovního módu.
2. Napájení ramene.
3. Stop tlačítko.
4. Pohybové tlačítka.
5. Výběr režimu pohybu.
6. Nastavení rychlosti.
7. Funkční klávesy.
8. Klávesnice.
9. Navigační tlačítka.
10. Řídicí tlačítka aplikace.
11. Blokovací mechanismus.
12. Změna stavu digitálních výstupů.
13. Rychlé pohyby.

6.3.1 Volba pracovního módu

Volba pracovního módu se provádí pomocí kontrolního panelu WMS nebo manuálního ovladače. Pracovní módy (obr. 6.6) jsou uvedeny níže.

- Manuální režim – Pomocí pohybového rozhraní lze ručně pohybovat s ramenem. Využívá se při pozicování.
- Lokální režim – Pomocí něj je možné s libovolnou rychlostí spouštět aplikace. Pohyby jsou prováděny pouze při stisknutí tlačítka na manuálním ovladači Move / Hold.
- Dálkový režim - funkce ovládání je stejná jako u lokálního módu až na to, že jsou pohyby povoleny již od napájení ramene. Nemusíme tedy mít stisknuté tlačítko Move / Hold (CS8C Kontrolér, 2016).



Obr. 6.6 – Výběr pracovního módu (CS8C Kontrolér, 2016)

6.3.2 Napájení motorů ramene

Napájení ramene se provádí pomocí zeleného podsvíceného tlačítka (obr. 6.7). Nutnou podmínkou v manuálním módu je sepnutá druhá poloha blokovacího mechanismu na zadní straně manuálního ovladače. To je splněno automaticky, pokud je MCP umístěn v kovovém držáku (CS8C Kontrolér, 2016).



Obr. 6.7 – Tlačítko napájení ramene
(CS8C Kontrolér, 2016)

6.3.3 Stop tlačítko MCP

Stop tlačítko (obr. 6.8) je standardní červený hříbek plnící funkci nouzového zastavení. Jakmile je tlačítko stisknuto, dojde k zastavení ramene a všech ostatních zařízení v buňce. Tlačítko se musí používat pouze v absolutní nutnosti a alespoň jednou se musí otestovat.



Obr. 6.8 – Stop tlačítko (CS8C Kontrolér, 2016)

6.3.4 Pohybová tlačítka

Prostřednictvím pohybových tlačítek (obr. 6.9) uvádíme rameno do chodu. Postup je takový: Zvolíme pracovní mód (manuální), režim pohybu dle výběru (JOINT, FRAME, TOOL) a pomocí tlačítek manipulujeme s ramenem.



Obr. 6.9 – Pohybové klávesy (CS8C Kontrolér, 2016)

6.3.5 Tlačítka pro výběr režimu pohybu

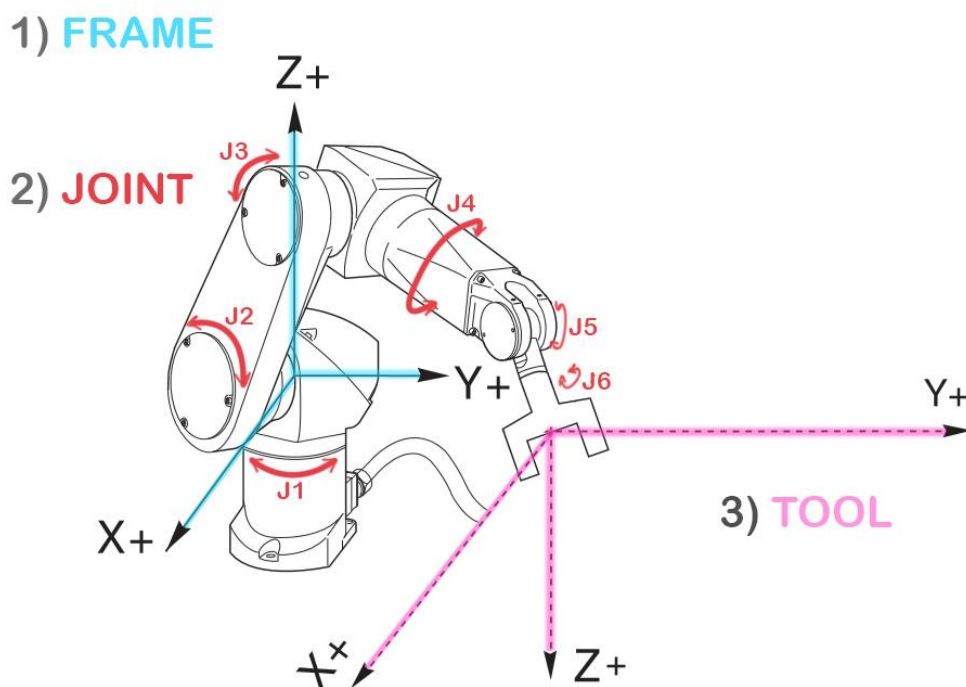
S ramenem je možné pohybovat v manuálním režimu různými způsoby. Existují 4 různé varianty pohybu – JOINT, FRAME, TOOL a POINT (obr. 6.10 a obr. 6.11).



Obr. 6.10 – Režimy manuálního pohybu (CS8C

Kontrolér, 2016)

JOINT se používá, pokud chceme pohybovat s jednotlivými klouby. Ihned po zahájení těchto pohybů jsou vizuálně patrné pozice natočení jednotlivých kloubů (J1 až J6). Pohyby FRAME a TOOL se udávají v kartézských souřadnicích (osa X, Y, Z a rotace kolem os RX, RY, RZ). Rozdíl mezi těmito pohyby je že FRAME je vztažen k rámu robotu a TOOL k nástroji. Posledním druhem pohybu je POINT. Od ostatních se liší tím, že k jeho pohybu nepoužíváme JOG tlačítka, ale MOVE / HOLD. POINT umožňuje pohyb do již naučeného bodu aplikace.



Obr. 6.11 – Manuální pohyby

6.3.6 Tlačítko nastavení rychlosti

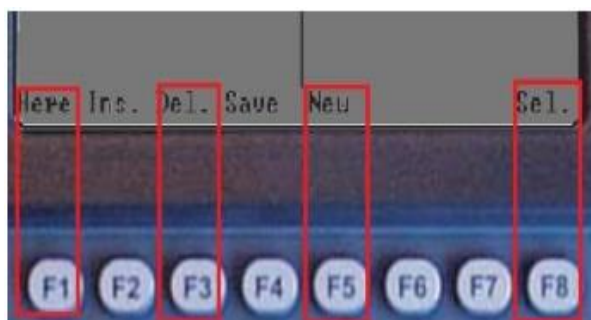
Toto tlačítko umožňuje nastavit rychlost v rámci limit režimu pohybu (obr. 6.12). Je závislé na výběru uživatelského profilu. Při přesném pozicování je zapotřebí snížit rychlost, která je zobrazena na displeji manuálního ovladače. Je možné ji měnit v rozmezích 0,01 % až 100 %.



Obr. 6.12 – Tlačítko nastavení rychlosti

6.3.7 Funkční klávesy

Funkční klávesy F1 – F8 (obr. 6.13) slouží pro potvrzení nabídky zobrazující se v nejspodnější části displeje manuálního ovladače.



Obr. 6.13 – Funkční klávesy MCP

6.3.8 Klávesnice

Klávesnice (obr. 6.14) obsahuje písmena, čísla a speciální znaky. Slouží pro zadávání údajů v aplikaci (názvy bodů, editace programového kódu apod.).



Obr. 6.14 – Klávesnice MCP

6.3.9 Navigační tlačítka

Na obr. 6.15 jsou znázorněna tlačítka, která slouží k navigaci (Shift, Esc, Menu, Tab, Pg up, Backspace, User, Home, Pg dn, End, Shift-lock). Rozbor některých z nich není nijak zvlášť důležitý, protože jejich funkce je všeobecně známá.

Za zmínku však stojí stisk tlačítek Shift + User. Díky této kombinaci se ukáže stránka pro změnu profilu uživatele. Klávesa Menu umožní návrat do hlavního menu a tlačítko Help poskytne online nápovědu (CS8C Kontrolér, 2016).



Obr. 6.15 – Navigační klávesy (CS8C Kontrolér, 2016)

6.3.10 Ovládací tlačítka aplikace

Ovládací klávesy (obr 6.16) slouží pro řízení aplikace. Spuštění programu se provádí tlačítkem Run. Pokud chceme vypnout probíhající aplikaci, použijeme klávesu Stop. Tlačítko Move/Hold je závislé na vybraném pracovním režimu.

V manuálním režimu jsou pohyby vykonávány pouze pokud po celou dobu držíme klávesu Move/Hold. Při jejím puštění dochází k okamžitému zatavení robotu. U lokálního a dálkového režimu plní funkci pauzy. Pokud aplikace běží a jednou stiskneme tlačítko, dojde k zastavení. Při druhém stisknutí se pauza vyruší. Rozdíl mezi dálkovým a lokálním režimem je takový, že u dálkového může být tlačítko neaktivní, to závisí především na vybraném profilu uživatele.



Obr. 6.16 – Ovládací tlačítka aplikace
(CS8C Kontrolér, 2016)

6.3.11 Blokovací mechanismus MCP

Blokovací mechanismus (obr. 6.17) se nachází na zadní straně manuálního ovladače. Tohle třípolohové tlačítko plní v manuálním režimu bezpečnostní funkci. Jestliže je tlačítko v mezní poloze, může dojít k napájení motorů. Ostatní polohy blokují napájení. U lokálního a vzdáleného módu je tohle tlačítko bezvýznamné a nemá na funkci ramene žádný vliv.



Obr. 6.17 – Blokovací mechanismus (CS8C Kontrolér, 2016)

6.3.12 Tlačítka digitálních výstupů

Tyto klávesy je možné použít pouze v manuálním režimu. Každé z těchto tlačítek (obr. 6.18) může být přiřazeno výstupnímu zařízení, které se nachází v I/O nabídce manuálního ovladače. Přidělení výstupu tlačítku probíhá kombinací kláves Shift + jedno ze tří tlačítek digitálních výstupů.



Obr. 6.18 – Klávesy digitálních výstupů (CS8C Kontrolér, 2016)

6.3.13 Rychlé pohyby (JOG)

Na manuálním panelu jsou umístěna chytrá tlačítka JOG (obr. 6.19), která poskytují uživateli komfort. Umožňují operátorovi pohybovat s ramenem pouze jednou rukou.

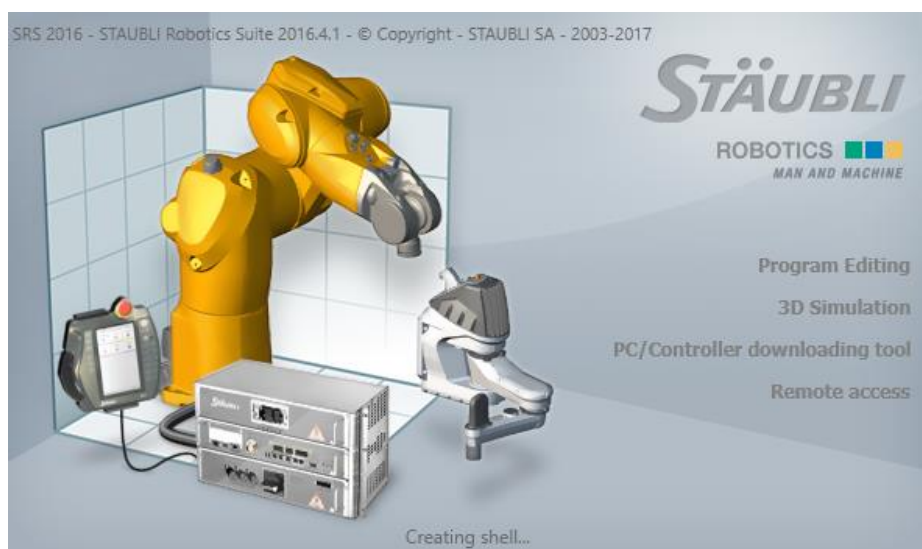


Obr. 6.19 – JOG tlačítka (CS8C Kontrolér, 2016)

7 PROGRAMOVÁNÍ ROBOTŮ STÄUBLI

Švýcarská firma Stäubli poskytuje ke svým robotům počítačový software Robotics suite (SRS) pro vývoj a údržbu robotických aplikací. Program v sobě obsahuje dva moduly – Development studio a Maintenance studio.

Součástí development studia jsou všechny potřebné nástroje pro tvorbu a simulaci aplikací. Maintenance je vzdálený přístup pomocí kterého můžeme kontrolovat robota a v reálném čase získávat jeho vizuální odezvu.



Obr. 7.1 – Stäubli robotics suite software

Uživatel může využít jeden ze tří různých způsobů řešení své aplikace. Vlastní tvorba aplikace se programuje v editoru VAL3. Dále je možné využít už hotová softwarová řešení VAL3 PRODUCT (SRC), které běží na kontroléru. Výhodou je, že osvojení „plug and play“ balíčků je snadné a nejsou u nich vyžadovány znalosti programování. V neposlední řadě Stäubli poskytuje otevřené rozhraní uniVAL pro řízení pohybů robota z externího počítače (PLC) (Slavík Jakub, 2016).



Obr. 7.2 – VAL3, uniVAL, VALproduct (Stäubli: Robotics Controls, 2017)

7.1 PROGRAMOVÉ VYBAVENÍ STÄUBLI ROBOTICS SUITE

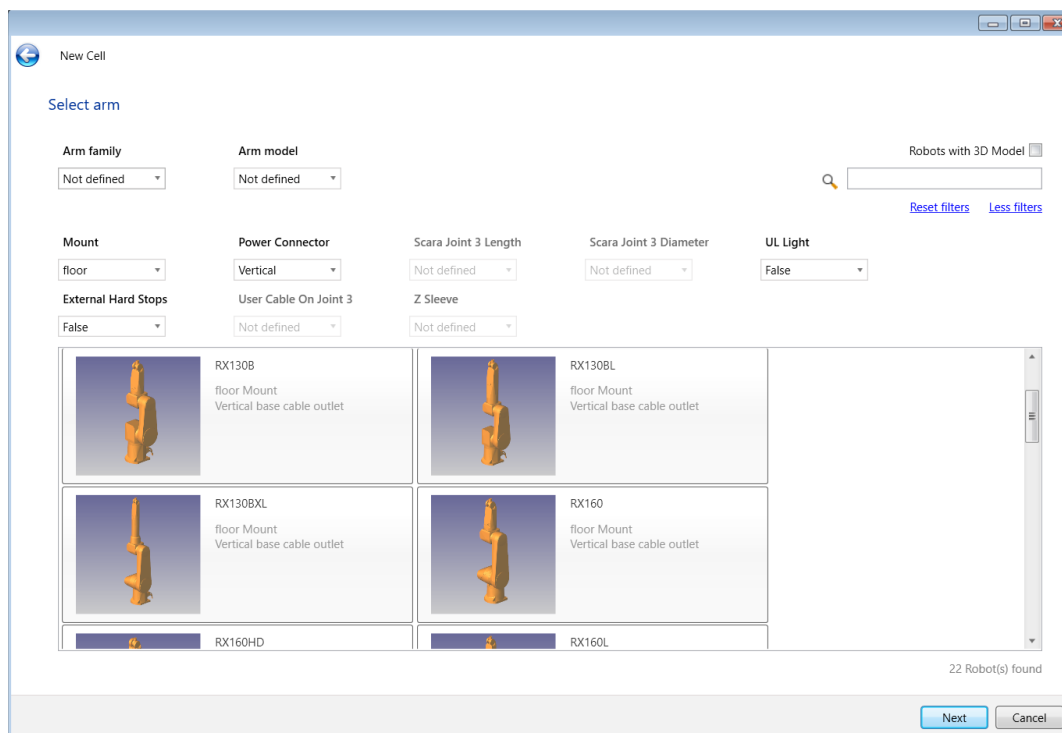
Součástí licencované verze robotics studio suite jsou tyto programy:

- cell manager,
- 3D studio,
- VAL3 studio,
- emulátor,
- transfer manager.

7.1.1 Cell manager

Tento nástroj slouží pro vytvoření pracovního prostoru (buňky). Nabízí se nám možnost využití průvodce (cell wizzard). Pomocí tohoto nástroje je možné přidat reálný nebo virtuální kontrolér. Jelikož je kontrolér dodáván s konfiguračními soubory ramene, je výhodnější přidat reálný kontrolér. V opačném případě jsou při zvolení virtuálního kontroléru kalibrační soubory prázdné. Ty je však možné později manuálně nahrát.

Zvolením virtuálního kontroléru využijeme filtr a zadáme parametry (model, typ, umístění výstupních kabelů apod.). Při potvrzení vybraného robota (obr 7.3) se nám v Robotics studiu vytvoří kontrolér společně s ramenem.



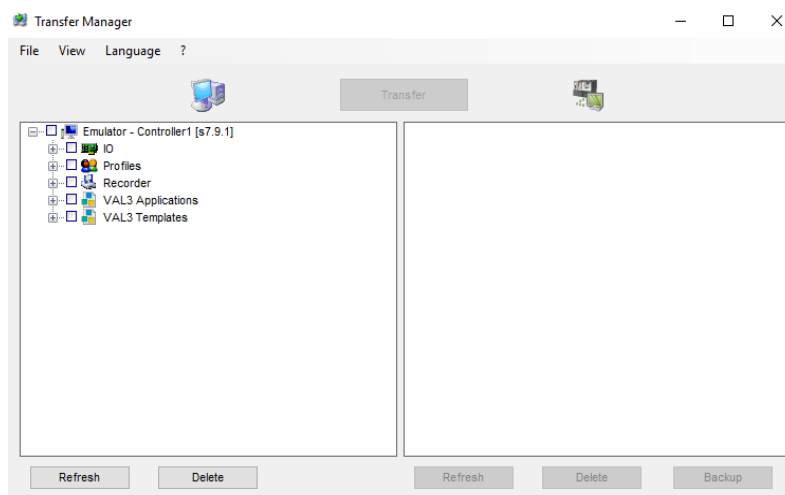
Obr. 7.3 – Cell manager

7.1.2 Transfer manager

Transfer manager (obr. 7.4) je založen na FTP protokolu, který slouží pro výměnu dat mezi kontrolérem CS8C a uživatelem. Ke kontroléru se připojíme prostřednictvím jednoho ze dvou ethernetových portů J205 nebo J204. Pro připojení stačí zadat IP adresu kontroléru, kterou je možné si zobrazit v manuálním ovladači.

Pomocí Transfer manageru můžeme aktualizovat tyto konfigurační soubory:

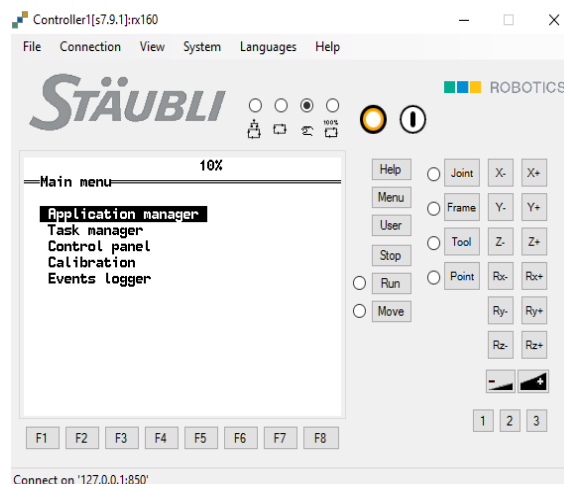
- Arm.cfx – Konfigurace ramen. Soubor je dostupný pouze pro zálohu.
- Cell.cfx – Konfigurace buňky (jazyk, maximální rychlost v kartézských souřadnicích atd.).
- Network.cfx – Konfigurace sítě kontroléru (IP adresa, komunikační porty, brány apod.).
- Controller.cfx – Konfigurace kontroléru.
- Konfigurační soubory vstupů a výstupů (bIo, bIo2, atd.).



Obr. 7.4 – Transfer manager

7.1.3 CS8 Emulator

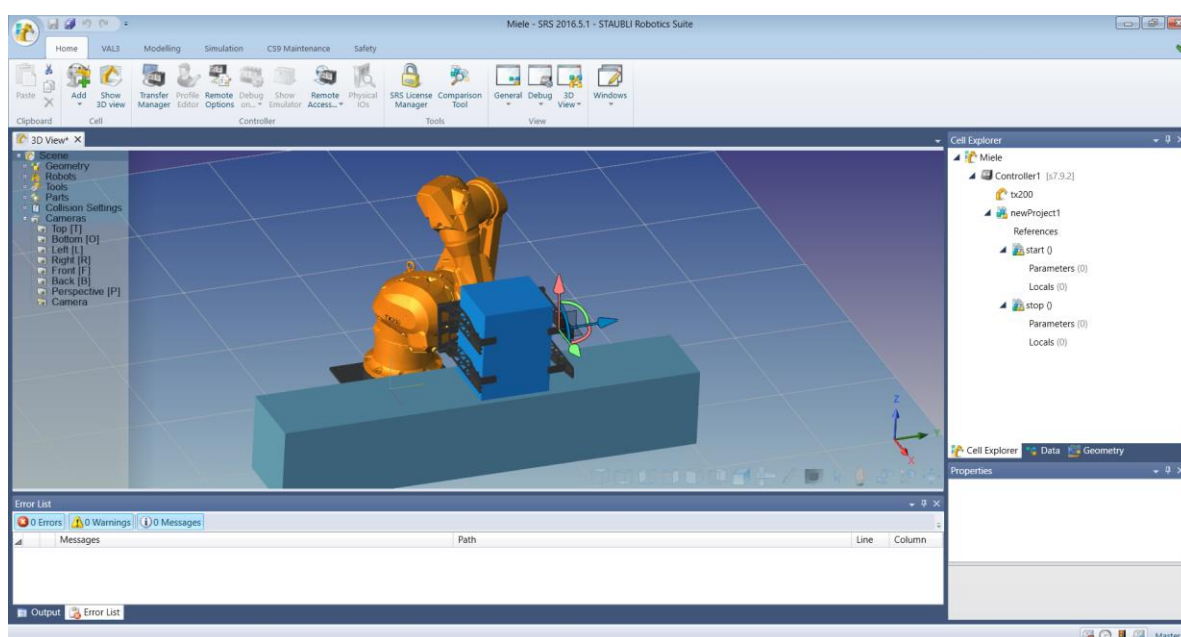
SW Robotics studio má v sobě implementovaný emulátor (obr 7.5). Jedná se o speciální druh softwarového nástroje, který umožňuje spustit operační systém kontroléru na odlišné architektuře (PC). Pomocí něj je možné načíst VAL3 aplikace přímo z počítače, následně je editovat a spouštět. Jestliže chceme simulovat pohyby ramene, je nutné ve 3D studiu zapnout synchronizaci.



Obr. 7.5 – Emulátor manuálního ovladače MCP

7.1.4 3D studio

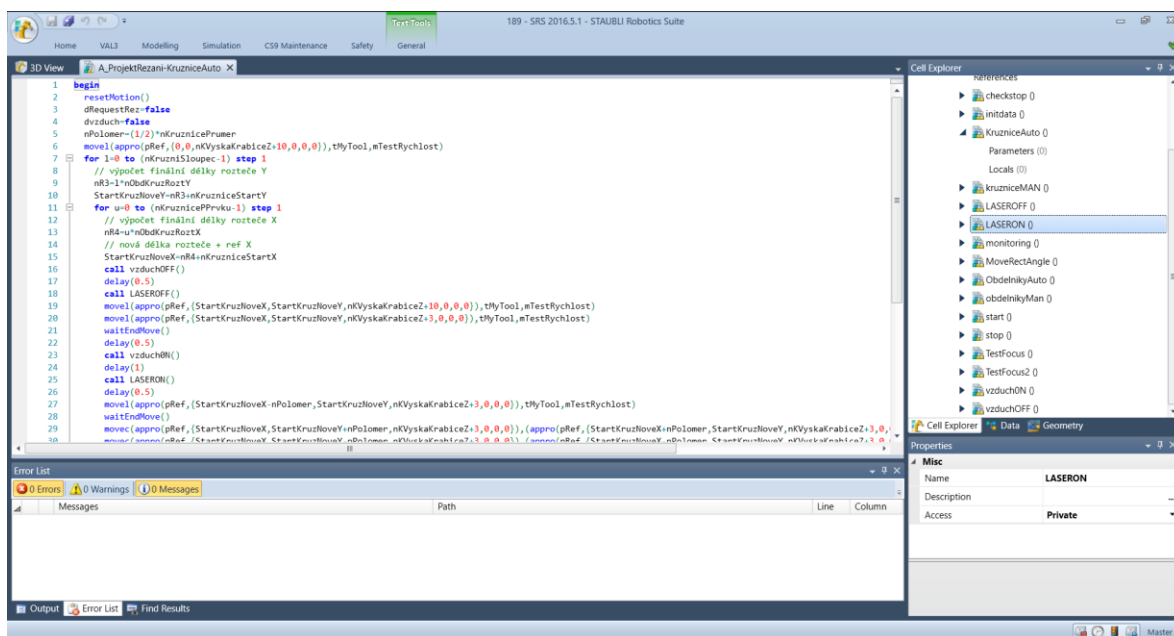
Tento program slouží k 3D zobrazení robotického zařízení. Podporuje možnost vytváření jednoduchých objektů a import CAD souborů (STL, STEP apod.). Program plně spolupracuje s emulátorem, díky kterému je možné rameno simulovat. Ve 3D studiu (obr 7.6) může být simulováno i více robotů, které jsou řízeny reálným nebo emulovaným kontrolérem (virtuálním). Uživateli poskytuje zvýraznění kolidujících objektů a ověření minimálních vzdáleností. Lze také rychle a přesně vypočítat a ověřit doby cyklu.



Obr. 7.6 – 3D studio

7.1.5 VAL3 studio

Editor VAL3 (obr. 7.7) poskytuje programování ve vlastním jazyce VAL3. Umožňuje vytvářet, otevírat a upravovat aplikace. Lze vytvářet podprogramy a nová data (proměnné). Uživatelé určitě potěší implementovaná funkce opravování syntaktických chyb.



Obr. 7.7 – VAL3 editor

8 PROGRAMOVACÍ JAZYK VAL3

Aplikace je možné vytvářet nebo spravovat na počítači prostřednictvím VAL3 studia nebo v CS8C emulátoru. V případě demoverze je editor VAL3 pouze pro čtení (nelze využívat funkci uložit). Toto pravidlo však neplatí při použití CS8C emulátoru.

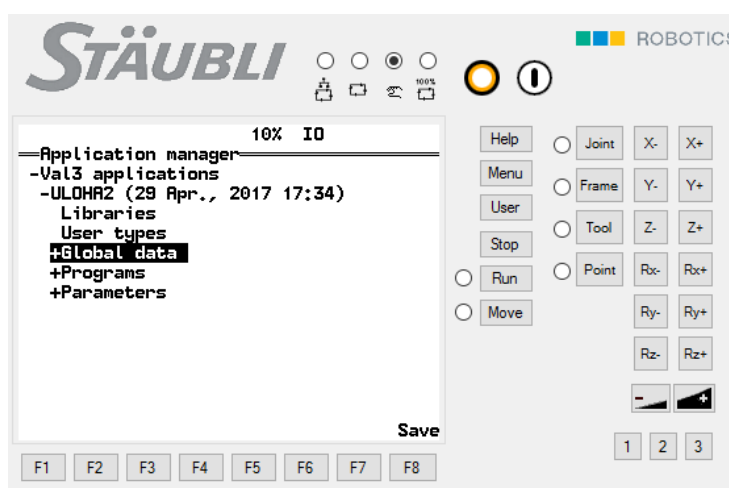
Výhodou psaní programu v MCP (emulátoru) je, že jsou příkazy kontrolovány. Takže pokud je příkaz neplatný, je ihned po zadání zamítnut. Nelze říci jaká možnost je pro začínajícího programátora vyhovující, ale je jisté že pokročilejší programátor se bez programového vybavení z komfortních důvodů určitě neobejde.

8.1 APLIKACE

Pod VAL3 aplikací (obr 8.1) si je možné představit hlavní soubor, který obsahuje tyto části (podsoubory):

- Soubor programů (programs) – VAL3 instrukce, které se mají vykonat.
- Soubor globálních dat (global data) – Data sdílená mezi všemi programy v aplikaci.
- Soubor knihoven (libraries) – Externí aplikace, které se používají pro sdílení programů a dat.
- Seznam typů (User types) – Seznam typů definovaných pro daný program.
- Globální data – Celková data pro všechny aplikace.

V Robotics studio suite jsou tyto soubory k nalezení v oknech Cell manager, Data a Geometry (VAL3 Reference Manual, 2008).



Obr. 8.1 –Struktura aplikace

8.2 PROGRAM

Program je tvořen základními instrukcemi programovacího jazyka VAL3. Součástí jsou VAL3 příkazy, lokální proměnné a parametry. Hned po vytvoření aplikace se automaticky vytvoří programy **start()** a **stop()**. Při spuštění aplikace systém volá program **start()** a na konci **stop()**. Oba programy nemají parametry a nelze je vymazat ani přejmenovat.

Programy lze volat rekurzivně a jejich součástí jsou lokální proměnné (proměnné v rámci podprogramu) a parametry.

8.2.1 Základní datové typy (simple types)

- Bool: logický typ, který nabývá pouze dvou hodnot (true, false),
- Num: číselné hodnoty,
- String: pro znakové řetězce,
- Dio: digitální vstupy/výstupy,
- Aio: analogové vstupy/výstupy,
- Sio: užívány pro ethernetové připojení (VAL3 Reference Manual, 2008).

8.2.2 Stukturované datové typy (structured types)

- Trsf: transformace souřadnic v kartézském prostoru (X, Y, Z, RX, RY, RZ),
- Frame: kartézské nastavení geometrie rámce,
- Tool: konfigurace nástroje,
- Point: kartézská pozice nástroje,
- Joint: pozice natočení robota,
- Config: konfigurace robotu,
- Mdesc: pro nastavení pohybů ramene (VAL3 Reference Manual, 2008).

8.2.3 Proměnné

Proměnná je část paměti, kterou používáme k uložení dat. Proměnné se identifikují pomocí jména (pokud se jedná o pole tak indexem). Vyznačují se datovým typem a velikostí. VAL3 jazyk využívá lokální a globální proměnné. Lokální mohou být použity pouze v programu, ve kterém jsou deklarovány. Globální můžou být použity u všech programů aplikace.

	Index	J1	J2	J3	J4	J5	J6
▶	0	4,44195	33,57686	94,22263	-179,94198	-52,17076	-38,36308

Obr. 8.2 – Hodnoty proměnné jPoint

8.2.4 Příkazy pro pohyb robota

Pohyby robota se programují pomocí předdefinovaných funkcí MOVEJ (obr. 8.3), MOVEC a MOVEJ (obr. 8.3). Tyto příkazy udávají přesun z aktuálního místa do definovaného bodu, jenž má osově nebo kartézské souřadnice (pPoint, jPoint). Výjimkou je příkaz MOVEJ, který nepodporuje joint body. Příkaz je dále složen z nástroje (tTool) a rychlosti (mDesc). K úplnosti příkazu je nutné vytvořit data a nastavit jejich hodnoty. Tyto úkony jsou probrány v další kapitole.

Každý z těchto funkčních příkazů má odlišnou dráhu. Trajektorie může být interpolována přímkou nebo křivkou. Pomocí příkazu MOVEJ provádíme lineární pohyb ramene s co nejkratší vzdáleností. U tohoto pohybu může nastat problém se singularitou. U pohybů MOVEJ (křivková interpolace) a MOVEC (kružnicová interpolace) jsou pohyby vykonány dříve, ale s podstatně delší trajektorií. Přímkové pohyby se používají v omezeném prostředí např. překážka nebo zakládání. Níže jsou uvedeny příkazy daných pohybů.

MOVEJ

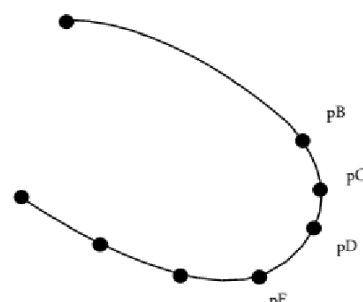
Movej(pA,tGripper,mFAST)

Movej(pB,tGripper,mFAST)

Movej(pC,tGripper,mFAST)

Movej(pD,tGripper,mFAST)

Movej(pD,tGripper,mFAST)



Obr. 8.3 – Příkaz MOVEJ (VAL3 Reference Manual, 2008)

MOVEJ

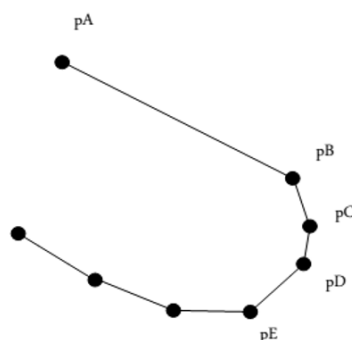
Movej(pA,tGripper,mFAST)

Movej(pB,tGripper,mFAST)

Movej(pC,tGripper,mFAST)

Movej(pD,tGripper,mFAST)

Movej(pD,tGripper,mFAST)



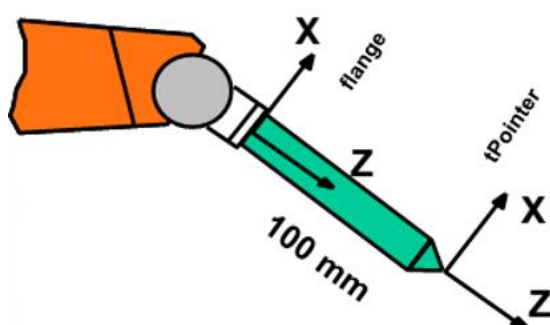
Obr. 8.4 – Příkaz MOVEJ (VAL3 Reference Manual, 2008)

8.2.5 Definování dat pro pohyb (nástroj, body a rychlosti)

Všechny data se definují buď prostřednictvím Robotics suite nebo manuálního ovladače MCP. Příkaz pro pohyb je kompletní, jestliže je definován pointRX/RS, mdesc a tool. Jedná se o strukturované datové typy.

Tool

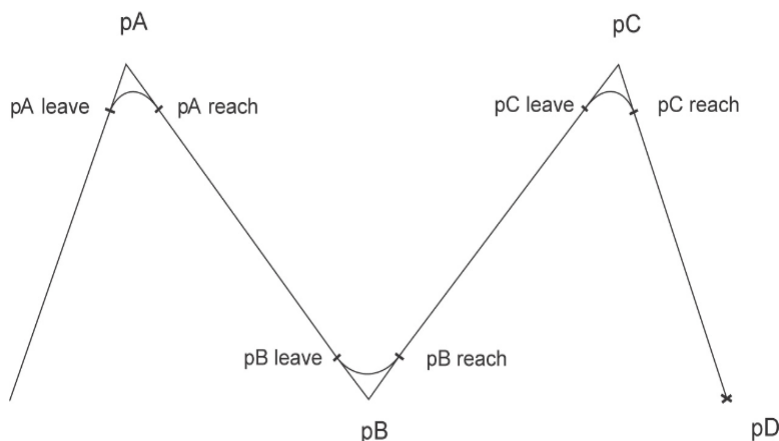
V tool se zadávají rozměry nástroje viz obr. 8.5. Následně se zadá potřebný čas k otevření a zavření nástroje. Další nutností je přiřazení výstupu nástroje.



Obr. 8.5 – Rozměry nástroje (VAL3 Reference Manual, 2008)

MDesc

V MDesc je definována rychlost, zrychlení, zpomalení a lze v něm nastavit rádia (blend). Rychlost jednotlivých pohybů se zadává v procentech nebo v mm/s. Rádia se vytváří pomocí dvou hodnot (reach a leave). Při vytvoření programu se vytvoří základní mDesc (mNomSpeed) v němž je standardně definován blend u reach i leave na hodnotu 50. Na obr. 8.6 je vidět, že při nastavení těchto hodnot nikdy robot nedovrší bodu pA, pB.

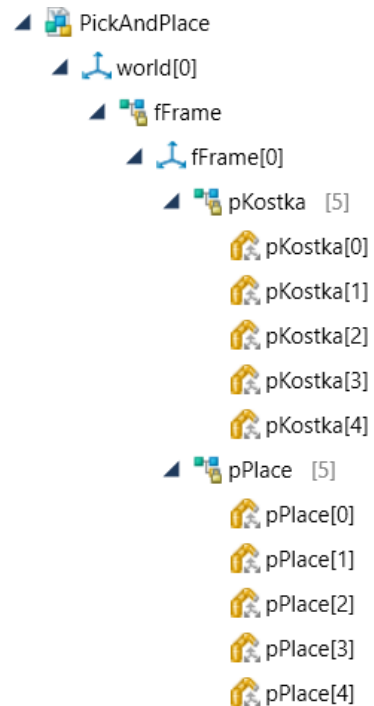


Obr. 8.6 – Definování rádiusů (VAL3 Reference Manual, 2008)

Point Rs/Rx

Při tvorbě programu je možné použít Point Rs a Rx. PointRs lze použít jak pro přímkový, tak i křivkový pohyb. PointRx je regulární pouze v případě křivkového pohybu. Bod Rx je charakterizován úhly natočení jednotlivých os. Na druhou stranu bod Rs je definován v kartézském souřadnicovém systému.

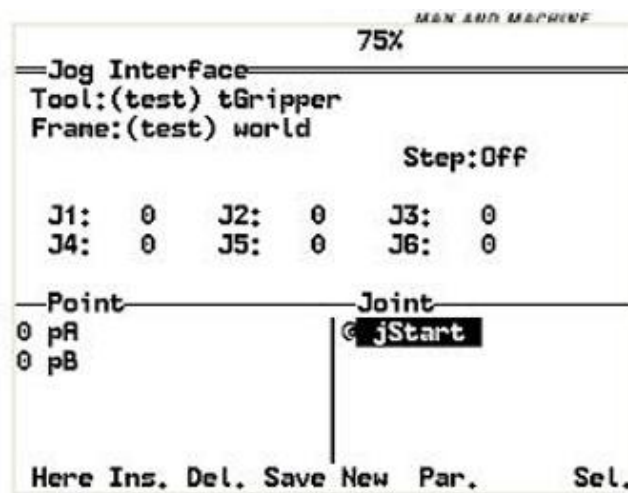
Nelze opomenout, že body jsou standardně vytvářeny do globálního prostoru world. Pro lepší práci s body je vhodné vytvořit a nastavit novou geometrii rámce (frame), která je součástí worldu. Správná struktura bodů je znázorněna na obr. 8.7.



Obr. 8.7 – Geometrická struktura bodu

Stručný postup učení bodů

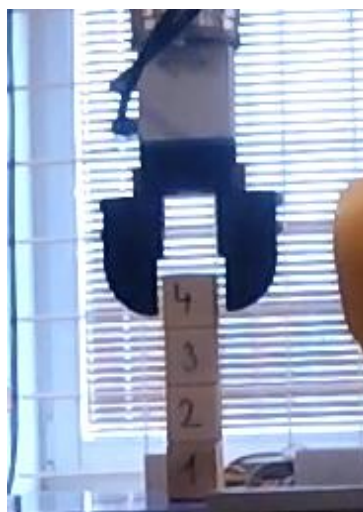
Prostřednictvím transfer manageru nahrajeme aplikaci do kontroléru. Zapneme manuální režim a pomocí pohybových tlačítek nasměrujeme robota do požadovaného bodu. Přepneme se do režimu point. Pro uložení pozice stiskneme HERE. Po naučení všech pozic provedeme uložení (obr. 8.8). Pro další potřeby přehrajeme program pomocí transfer manageru zpět do počítače.



Obr. 8.8 – Učení bodů s MCP

9 APLIKACE PICK&PLACE

Pro demonstraci jsem vytvořil aplikaci, ve které robot přemísťuje na sobě naskládané kostky (obr 9.1) z jednoho místa na druhé. Start programu potvrzuje uživatel prostřednictvím manuálního ovladače (viz níže). Program jsem napsal za pomoci programového vybavení Stäubli robotics suite.



Obr. 9.1 – Aplikace pick&place

9.1 PRINCIP FUNKCE APLIKACE

Aplikace se skládá z programu **start()**, **stop()**, **move()** a **task()**. Na obr 9.2 je znázorněn program **start()**, který vytvoří proces **task()** a zavolá se funkce **userPage()** zapínající obrazovku MCP (viz obr. 9.3). Vymažou se původní textová hlášení a uživateli se vypíše text s žádostí o zapnutí programu.

Pomocí metody **get** se získá hodnota od uživatele. Jestliže je zadáno a potvrzeno číslo 1, zavolá se program **move()**.

```
1 begin
2   taskCreate "task",100,task()
3 end
```

Obr. 9.2 – Program start()

```

begin
    userPage()
    cls()
    put("Pro start přemístění zadej 1 a potvrď enter")
    get(nNumber)
    cls()
    if (nNumber==1)
        put("Provádím přemístění")
        call Move()
    endIf
end

```

Obr. 9.3 – Program task()

Program **move()** obsahuje sadu algoritmů pro řízení pohybů robotu. Na obr 9.4 je zobrazen úryvek z kódu, jehož funkce je vysvětlena níže.

Robot se inicializuje do základní pozice (jHome) a otevřou se čelisti. Rameno se pohne do transformovaného bodu pPick[0], jehož transformace souřadnic je uložena v proměnné trAppro (osa Z = 80mm). V tuto chvíli se robot nachází 80 mm nad čtvrtou kostkou. Nyní se rameno lineárním pohybem dostane na souřadnice bodu pPick[0] (bod úchopu kostky). Čelisti se zavřou a lineárním pohybem se vrátí do transformovaného bodu pPick[0]. V této části kódu nastává přesun transformovaného bodu pPlace[0] a poté lineárně do bodu pPlace[0]. V tento moment se otevřou čelisti a koncová část robotu se vrátí do bodu pPlace[0].

```

2    // počáteční pozice
3    movej(jHome,tGripper,mNomSpeed)
4    open(tGripper)
5
6    // Pick
7    movej(appro(pPick[0],trAppro),tGripper,mNomSpeed)
8    movel(pPick[0],tGripper,mNomSpeed)
9    close(tGripper)
10   movel(appro(pPick[0],trAppro),tGripper,mNomSpeed)
11
12   // Place
13   movej(appro(pPlace[0],trAppro),tGripper,mNomSpeed)
14   movel(pPlace[0],tGripper,mNomSpeed)
15   open(tGripper)
16   movel(appro(pPlace[0],trAppro),tGripper,mNomSpeed)

```

Obr. 9.4 – Úryvek kódu pick&place

9.2 DEFINOVÁNÍ DAT

Aby byla aplikace úplná je zapotřebí definovat data (souřadnice bodů, rozměry efektoru, nastavení rychlosti). Na obr. 9.5 jsou znázorněny souřadnice bodů, které jsem naučil prostřednictvím manuálního ovladače (viz kapitola 8.2.5). Na obr. 9.6 jsou definované hodnoty nástroje od příruby. V pohybových příkazech je použito nastavení rychlosti viz obr. 9.7.

Index	X	Y	Z	Rx	Ry	Rz
pPick[0]	1 166,33514	-299,71482	33,66937	-0,1024	-179,47228	-43,6967
pPick[1]	1 166,31842	-300,0193	4,2951	-0,10322	-179,47264	-43,69655
pPick[2]	1 168,2809	-298,52758	-22,14123	-0,10298	-179,47217	-43,69663
pPick[3]	1 169,19227	-299,80959	-51,4729	-0,10263	-179,47221	-43,69696
pPick[4]	1 206,24159	-107,55883	-25,03145	-179,54361	0,58775	47,00766
pPlace[0]	1 166,31843	27,99724	-54,81511	-0,10239	-179,47212	-43,69738
pPlace[1]	1 164,46317	28,93787	-24,57982	-0,1021	-179,47219	-43,69761
pPlace[2]	1 163,55222	28,26724	7,59868	-0,10202	-179,47242	-43,69768
pPlace[3]	1 163,56322	28,05713	37,12023	-0,10204	-179,47267	-43,69769
pPlace[4]	1 155,68955	-192,24825	214,94864	-179,54408	0,58772	47,00835
jHome	-5,55882	30,62982	55,77525	-179,10288	-92,16067	42,06088

Obr. 9.5 – Souřadnice bodů

In...	X	Y	Z	Rx	Ry	Rz	Gripper	OTime	CTime
0	0	0	141	0	0	0	valve1	0,5	0,5

Obr. 9.6 – Nastavení nástroje

Index	Accel	Vel	Decel	TVel	RVel	Blend	Leave	Reach
0	100	100	100	99 999	99 999	joint	50	50

Obr. 9.7 – Nastavení rychlosti

10 ZÁVĚR

V první části bakalářské práce jsou zpracovány základní pojmy z oblasti robotiky. Dále je představeno základní rozdělení průmyslových robotů a efektorů. Teoretická část se rovněž zabývá popisem průmyslového robotu Stäubli RX160.

Práce také obsahuje popis paralelního chapadla Festo DHPS-20-A a návrh jeho modifikace. Vytvořil jsem externí palce, které jsou kompatibilní s čelistmi efektoru. Při návrhu jsem si prohloubil znalost technického kreslení. V příloze je poskytnut technický výkres a model součástí. Oba soubory byly zpracovány pomocí softwaru AutoCAD.

Realizace výrobku probíhala prostřednictvím technologie 3D tisku. K jeho vytištění byl použit materiál ABS, který je odolný vůči mechanickému poškození. Dospěl jsem k závěru, že technologie 3D tisku je plně využitelná při úpravě efektoru. Součástí práce je také popis této technologie.

Při tvorbě bakalářské práce jsem se seznámil s programováním průmyslových robotů firmy Stäubli. Na závěr práce jsem vytvořil demonstrační aplikaci, ve které bylo využito upravené chapadlo DHPS-20-A. Program jsem vytvořil v programovacím jazyce VAL3. Součástí přílohy je videozáznam robotické aplikace.

POUŽITÁ LITERATURA

- Arm – RX series 160 family: Instruction manual. Stäubli, 2014. 150 s [cit. 2017-11-05].
- BERNIER, Catherine, 2014. Magnetický koncový efektor. In: ROBOTIQ [online]. [cit. 2017-11-06]. Dostupné z: <https://blog.robotiq.com/hs-fs/hub/13401/file-205896218-jpg/images/magnetic-end-effector.jpg?t=1509992838233&width=474&height=452&name=magnetic-end-effector.jpg>
- Čidla polohy SMAT-8M, do drážky T. In: Festo.com [online], 2016 [cit. 2017-11-06]. Dostupné z: https://www.festo.com/cat/en-gb_gb/data/doc_CS/PDF/CZ/SMAT-8M_CZ.PDF
- CS8C Kontrolér: Návod k použití. Stäubli, 2016. 282 s. [cit. 2017-11-05].
- FALTA, Libor. Robotizované pracoviště pro ukládání 25 kg pytlů maltové směsi na paletu [online], 2014 [cit. 2017-11-05]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=16454. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. Vedoucí práce RADEK KNOFLÍČEK.
- HEJTMÁNEK, Tomáš. Chirurgický robot da Vinci, 2016. In: IDNES.cz [online]. Hradec Králové, [cit. 2017-11-05]. Dostupné z: https://hradec.idnes.cz/foto.aspx?r=hradec-zpravy&c=A160610_2252369_hradec-zpravy_tuu&foto=TUU610b18_P201602030442301.jpg
- JASÍČEK, Radek, 2013. Manipulační operace s průmyslovými roboty [online]. Vysoké učení technické v Brně [cit. 2017-11-05]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=65134. Bakalářská práce. Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. Vedoucí práce Aleš Pochylý.
- JELÍNEK, Tomáš, 2010. Podtlakové úchopné hlavice [online]. Vysoké učení technické v Brně. [cit. 2017-11-06]. Dostupné z: http://www.umel.feec.vutbr.cz/~bousek/vak/KONSTRUKCE/PODTLAK_UCHOP_JELINEK.pdf. Semestrální projekt. Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií ústav mikroelektroniky.
- Kinematika robotů. In: Podpora výuky PTS [online], 2015. Prosek [cit. 2017-11-05]. Dostupné z: http://skola.hellebrand.cz/text1415/rt/RT-4-10-02_Robotika-2-Kinematika.pdf
- KOHOUT, Luděk. Roboty a manipulátory. In: Edumat [online], 2008. Kutná Hora [cit. 2017-11-05]. Dostupné z: http://www.edumat.cz/texty/Roboty_manipulatory.pdf
- KRATOCHVÍL, Tomáš. Koncové efekторы průmyslových robotů pro manipulaci [online], 2013. Vysoké učení technické v Brně [cit. 2017-11-05]. Dostupné z: https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/26894/Tom%C3%A1%C5%A1_Kratochv%C3%ADL-BP-2013.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Bakalářská práce. Fakulta strojního inženýrství ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. Vedoucí práce Lukáš Flekal.
- Malý měsíčník. In: Euro.cz [online], 2016. Praha [cit. 2017-11-05]. Dostupné z: <https://www.euro.cz/light/plovouci-robot-prozkouma-trosky-elektrarny-fukusima-1354473>
- Paralelní chapadla DHPS. In: Festo.com [online], 2017 [cit. 2017-11-06]. Dostupné z: https://www.festo.com/cat/en-gb_gb/data/doc_CS/PDF/CZ/DHPS_CZ.PDF

- Redukční ventily s filtrem LFR/LFRS. Festo [online], 2013 [cit. 2017-11-07]. Dostupné z: https://www.festo.com/cat/en-gb_gb/data/doc_CS/PDF/CZ/LFR-D_CZ.PDF
- Robot PR-32 In: Youtube.com [online], 2011 [cit. 2017-11-06]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=lcdRbXhIYj0>
- Robotic tool changer systems MPS for all payloads. In: Staubli.cz [online], 2016 [cit. 2017-11-05]. Dostupné z: https://www.staubli.com/index.php?eID=tx_nawsecuredl&u=0&g=0&t=1510007093&hash=92360b0fcfa9ad2495f7a5b19021cc9d8480d711&file=fileadmin/user_upload/staublicom/connectors/products/MPS/pdf/product/20150622_MPS_UK_RZ5510300B.pdf
- ŘEHÁKOVÁ, Eva. Factory automation [online], 2014 [cit. 2017-11-25]. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/kdo-vymyslel-slovo-robot-karel-capek-to-nebyl/>
- Schunk MPG. In: Schunk.com [online], 2015 [cit. 2017-11-05]. Dostupné z: https://schunk.com/cz_en/gripping-systems/series/mpg/
- SKAŘUPA, Jiří. Průmyslové roboty a manipulátory [online], 2007. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita [cit. 2017-11-05]. ISBN 978-80-248-1522-0. Dostupné z: http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/PRM/Text/Skripta_PraM.pdf
- SLAVÍK, Jakub. Proelektrotechniky.cz [online], 2016 [cit. 2017-11-19]. Dostupné z: <http://www.proelektrotechniky.cz/prumyslova-automatizace/84.php>
- STANĚK, Michal. Aplikace průmyslových robotů v oblasti obrábění [online], 2009. Brno [cit. 2017-11-05]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=16454.
Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. Vedoucí práce RADEK KNOFLÍČEK.
- Stäubli: Robotics Controls [online], 2017 [cit. 2017-11-26]. Dostupné z: <https://www.staubli.com/en/robotics/robot-software/val3-robot-programming/>
- ŠÍPAL, Jaroslav. Základy automatizace – robotika. In: Sipal.fvtm.ujep.cz [online], 2008. Ústí nad Labem [cit. 2017-11-05]. Dostupné z: http://sipal.fvtm.ujep.cz/Auto/Auto_11neupr.pdf
- ŠVEJDA, Martin. Kinematika robotických architektur [online]. Západočeská univerzita v Plzni, 2011 [cit. 2017-11-05]. Dostupné z: <http://home.zcu.cz/~msvejda/URM/materialy/KinematikaRobotArchitektur.pdf>. Práce ke státní doktorské zkoušce. Fakulta aplikovaných věd Katedra kybernetiky.
- Tříbodové chapadlo Festo. In: Festo.cz [online], 2017 [cit. 2017-11-05]. Dostupné z: https://www.festo.com/cat/cs_cz/products_DHDS
- VAL3 Reference Manual. Stäubli, 2008. 186 s. [cit. 2017-11-05].
- Ventily. In: Jemil.cz: Strojírenská technika [online], 2010 [cit. 2017-11-07]. Dostupné z: <http://www.jemil.cz/pdf/05-ventily.pdf>

PŘÍLOHY

A - CD

Příloha k bakalářské práci
Řídicí software robotického manipulátoru
Tomáš Dočekal

CD

Obsah

- 1 Text bakalářské práce ve formátu PDF
- 2 Úplný zdrojový kód VAL3 aplikace
- 3 Technická dokumentace externích palců
- 4 Videozáznam robotické aplikace
- 5 Doplnující informace